



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



# RECOMENDADOR INTELIGENTE DE RUTAS A PIE O EN TRANSPORTE PÚBLICO PARA USUARIOS CON DISCAPACIDAD

TRABAJO FINAL DE MÁSTER EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL, RECONOCIMIENTO  
DE FORMAS E IMAGEN DIGITAL (MIARFID)

Departamento de Sistemas Informáticos y Computación (DSIC)  
Universidad Politécnica de Valencia (UPV)

**Realizado por:**

Andrea Carolina Peralta Bravo

**Dirigido por:**

Dra. Adriana Giret Boggino

Dra. María Emilia García Marques

**Valencia, 2017**

# Resumen

Hoy en día, el avance de la tecnología ha permitido desarrollar aplicaciones y sistemas que facilitan el cotidiano vivir de las personas. Uno de los campos más utilizados por miles de personas diariamente consiste en generar rutas para ir de un sitio a otro, obteniendo no sólo la ruta de acuerdo al medio de transporte que el usuario seleccione (coche, transporte público, caminar, bicicleta, etc.) sino además obtener recomendaciones de lugares de interés que pueden encontrar en el camino. Lastimosamente, estas aplicaciones no consideran el perfil de la persona que usa la aplicación, y genera las mismas rutas para una persona que tiene una discapacidad como para aquella que no la tiene.

El presente trabajo de fin de máster pretende aportar un modelo para crear un sistema de recomendación que se base en el perfil de usuario para generar rutas automáticas y personalizadas a pie o en transporte público para personas con discapacidad. El sistema consiste en obtener la información del usuario, tanto personal como del tipo de discapacidad que padece; en base a esta información se crearán rutas tomando en consideración los caminos que faciliten su movilización de un sitio a otro. Finalmente, la ruta óptima será presentada al usuario en un formato adaptado a sus necesidades (audio, texto o visual).

Con el fin de apoyar esta propuesta se ha realizado un estudio del estado del arte, que ha permitido crear una clasificación del tipo de discapacidades existentes, así como de los parámetros que se deben considerar tanto para generar la ruta como para establecer la forma más adecuada de presentársela al usuario. El resultado de esta investigación ha contribuido significativamente en la construcción y evaluación del modelo que se ha creado.

Finalmente, se desarrolló una aplicación que permitió evaluar el comportamiento del sistema en un ambiente de pruebas. Los resultados obtenidos muestran que la propuesta permite generar rutas para ir de un sitio a otro para personas con discapacidad considerando las necesidades de las mismas.

# Abstract

Nowadays, the advance of the technology has allowed to develop applications and systems that to facilitate the daily life of the people. One of the most used fields by thousands of people is to generate routes to go from one place to another, obtaining not only the route according to the means of transport that the user selects (car, public transport, walking, bicycle, etc.), but also can get recommendations of places of interest that can be found along the way. Unfortunately, these applications do not consider the profile of the person using the application, and generate the same routes for a person who has a disability as for those who do not.

The present master's work aims to provide a model to create a recommendation system based on the user profile to generate automatic and personalized routes on foot or on public transportation for people with disabilities. The system consists of obtaining the information of the user, both personal and the type of disability that suffers; Based on this information will be created routes taking into consideration the ways that facilitate their mobilization from one site to another. Finally, the optimal route will be presented to the user in a format adapted to their needs (audio, text or visual).

In order to support this proposal, a study of the state of the art has been carried out, which has made it possible to create a classification of the type of existing disabilities, as well as the parameters that must be considered both to generate the route and to establish the most appropriate way to be presented to the user. The result of this research has contributed significantly in the construction and evaluation of the model that has been created.

Finally, an application was developed that allowed to evaluate the behavior of the system in a test environment. The results show that the proposal allows generating routes to go from a site for people with disabilities considering the needs of them.

## Agradecimientos

A mis directoras de TFM, Adriana y María Emilia, por todo el apoyo, enseñanzas y consejos que me dieron durante todo este tiempo; cada uno de ellos fueron de vital importancia para el desarrollo de este trabajo.

A mi querido país, Ecuador, que, por medio del programa de becas de la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT), me brindó la oportunidad de prepararme profesionalmente facilitándome los medios necesarios para cumplir con este propósito.

A mi esposo, Fernando, por ser mi fuerza, apoyo e inspiración en cada instante; gracias por ayudarme a cumplir una meta más juntos y ser la razón de mi vida.

A mis padres, Luis y Claudia, porque a pesar de que están lejos siempre buscaron la forma de apoyarme y estar junto a mí, gracias por ser los mejores. Gracias por todo y, por tanto.

A Judithcita, por todo el cariño y aliento que me ha dado, gracias por ser parte de esta meta tan importante en mi vida.

A mis hermanos de sangre: Jorge, Gaby y Tefa, y también a los hermanos que la vida me regaló: Meli, Andrés, David, Charo, Jenny y Gabriel, gracias por cada palabra de aliento y apoyo constante durante todo este tiempo.

A mis sobrinos: Joaquín Andrés, María José, Gabriel Andrés, José Felipe, Isabella Estefanía, David Francisco. Gracias por cada sonrisa, por cada muestra de cariño y afecto, que me impulsaron a esforzarme para cumplir este objetivo y poder estar nuevamente cerca de Uds. Gracias mis pequeños.

A Valeria, gracias porque además de ser mi amiga has sido como mi hermana. Gracias por compartir cada instante de esta meta y estar ahí siempre.

A mis abuelitos y tíos, gracias por estar siempre pendientes y ser parte importante de esta meta.

# 1 Contenido

Resumen.....	II
Abstract .....	iii
Agradecimientos .....	iv
Índice de Figuras .....	vii
Índice de Tablas.....	viii
<b>1</b> Introducción .....	<b>1</b>
1.1 Motivación .....	1
1.2 Objetivos .....	2
1.3 Metodología de la investigación .....	2
1.4 Estructura del trabajo.....	3
<b>2</b> Estado del Arte .....	<b>4</b>
2.1 Introducción .....	4
2.2 Tipos de Discapacidad .....	4
2.2.1 Conceptos Básicos y Clasificación .....	4
2.2.2 Características más representativas .....	6
2.2.2.1 Discapacidades sensoriales y de la comunicación .....	6
2.2.2.2 Discapacidades motrices .....	7
2.2.2.3 Discapacidades mentales .....	7
2.2.2.4 Discapacidades múltiples y otras .....	8
2.2.2.5 Claves especiales .....	9
2.3 Sistemas de Recomendación.....	9
2.3.1 Información del usuario .....	10
2.3.2 Clasificación de los Sistemas de Recomendación .....	10
2.3.3 Evaluación de los Sistemas de Recomendación .....	12
2.4 Sistemas de Recomendación Semánticos .....	14
2.4.1 Características de los Sistemas de Recomendación Semánticos .....	14
2.4.2 Uso de las Ontologías en los Sistemas de Recomendación Semánticos .....	14
2.4.2.1 Sistemas de recomendación basados en redes de confianza .....	14
2.4.2.2 Sistemas adaptables al contexto.....	14
2.5 Sistemas de recomendación aplicados a la movilidad de personas con discapacidad .....	15
2.5.1 Fase de Planificación .....	15
2.5.1.1 Pregunta de investigación .....	15

Máster en Inteligencia Artificial, Reconocimiento de Formas e Imagen Digital

2.5.1.2	Identificación y selección de Estudios primarios .....	15
2.5.1.3	Criterios de inclusión y exclusión .....	16
2.5.1.4	Estrategia de Extracción de datos .....	16
2.5.1.5	Métodos de síntesis .....	16
2.5.2	Fase de Conducción.....	17
2.5.3	Trabajos Relacionados.....	17
2.5.4	Discusión .....	21
2.5.5	Consideraciones a tomar en cuenta.....	26
3	Diseño del Sistema Propuesto.....	27
3.1	Sistema Base.....	27
3.2	Diseño conceptual y estructura modular del sistema de recomendación propuesto .....	28
3.2.1	Parámetros de Entrada .....	28
3.2.1.1	Base de datos de Usuario .....	28
3.2.1.2	Ontología de Dominio .....	29
3.2.2	Sistema de Recomendación .....	38
3.2.2.1	Pre-proceso de Recomendación .....	38
3.2.2.2	Proceso de Recomendación .....	39
3.2.2.3	Proceso de Traducción .....	46
3.2.3	Visualización de la Información.....	46
4	Evaluación del modelo .....	48
5	Conclusiones y Trabajos Futuros.....	55
5.1	Conclusiones.....	55
5.2	Trabajos Futuros.....	56
	Referencias.....	57

# Índice de Figuras

Figura 1-1: Metodología de investigación utilizada .....	2
Figura 2-1: Esquema establecido por el CIF .....	5
Figura 2-2: Etapas de un SR.....	9
Figura 2-3:Arquitectura de un Sistema de Recomendación basados en contenido [17].....	11
Figura 2-4:Arquitectura de un Sistema de Recomendación colaborativo [17].....	11
Figura 2-5: Arquitectura de un Sistema de Recomendación basado en el conocimiento [17].....	12
Figura 2-6: Cuadro estadístico para C1. ....	19
Figura 2-7: Cuadro estadístico para C2. ....	21
Figura 2-8: Representación de gráfico de enrutamiento [46].....	23
Figura 2-9: Representación de PRM. [46]. ....	24
Figura 3-1: Arquitectura del Sistema de Recomendación.....	28
Figura 3-2: Ontología de Usuario .....	29
Figura 3-3: Modelo Contextual Ontología Usuario .....	30
Figura 3-4: Ontología de Contexto definida por De Oliveira [47] .....	31
Figura 3-5: Modelo Contextual Medios de Transporte.....	34
Figura 3-6: Modelo Contextual Aceras y Paradas de Transporte Público.....	36
Figura 3-7: Modelo Contextual Cruce de Aceras.....	37
Figura 3-8: Ejemplos de Mapeos principales utilizados para el sistema de recomendación [47] ...	39
Figura 4-1: Estructura creado para pruebas.....	48
Figura 4-2: Ruta Generada para Silla de Ruedas .....	49
Figura 4-3: Ruta Generada para Autismo.....	49
Figura 4-4: Ruta Generada para Síndrome de Down .....	50
Figura 4-5: Ruta Generada para Bastón/Andador .....	50
Figura 4-6: Ruta Generada para Andador .....	51
Figura 4-7: Ruta Generada para Discapacidad Auditiva.....	51
Figura 4-8: Ruta Generada para Discapacidad Visual .....	52
Figura 4-9: Comparativa entre tiempo de ejecución por tipo de discapacidad.....	54

# Índice de Tablas

Tabla 2-1: Clasificación de las discapacidades según el INEGI [6].....	5
Tabla 2-2: Criterios de Extracción. Mapeo Sistemático. ....	16
Tabla 2-3: Comparación de artículos revisados .....	18
Tabla 2-4: Sistemas de recomendación para usuarios de acuerdo al tipo de discapacidad.....	19
Tabla 2-5: Algoritmos utilizados para el diseño y/o implementación de recomendadores de rutas inteligentes.....	21
Tabla 3-1:Glosario de Conceptos Ontología de Usuario .....	30
Tabla 3-2: Glosario de Conceptos Ontología de Contexto [47].....	32
Tabla 3-3: Construcción de Estereotipos para cada tipo de discapacidad.....	43
Tabla 3-4: Formato de Salida para cada Tipo de Discapacidad .....	47
Tabla 4-1: Tiempos de Ejecución.....	53



# 1 Introducción

## 1.1 Motivación

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), para el año 2016 existían más de mil millones de personas que padecían alguna discapacidad, es decir, un 15% de la población mundial [1]. Por esta razón, la OMS ha tratado de generar conciencia en el resto de la población para que se reflexione acerca de los derechos de las personas con discapacidad.

El año 2003 fue establecido por la Unión Europea (UE) como “El año europeo de las personas con Discapacidad”, en el cuál los países miembros de la UE se plantearon complementar y realizar medidas nacionales con el fin de generar las condiciones necesarias para lograr una inclusión efectiva y la participación plena de las personas con discapacidad en la sociedad conforme a las disposiciones en materia de derechos humanos de la UE relativas a la discapacidad; además se estableció que para el año 2010, se hayan conseguido avances en diversas áreas cómo posibilidad de empleo, acceso a bienes y servicios, entre otros [2].

De forma análoga, en América Latina se han visto redoblados los esfuerzos para que la inclusión de las personas con discapacidad en los diferentes ámbitos. En la 48<sup>va</sup> reunión de la Conferencia Internacional de Educación celebrada en 2008 en Ginebra, se contó con la presencia de 12 países latinoamericanos en los que se elaboraron ciertas orientaciones con el fin de que se establezcan ciertos lineamientos para el acceso de personas con discapacidad a la educación y posterior integración al ámbito laboral [3].

Gracias a estos esfuerzos, las personas con discapacidad han sido incluidas en los distintos ámbitos sociales y laborales en la mayoría de países a nivel mundial, en los que han generado ambientes acoplados para que todas las personas tengan acceso sin restricción alguna; sin embargo, aún hay campos en los que las personas con discapacidad no han sido incluidas del todo: el ámbito tecnológico es uno de ellos.

Hoy en día, la tecnología forma parte de nuestro diario vivir; los móviles, ordenadores y tabletas son dispositivos que los usamos a cada momento. Por esta razón, cada vez son más las aplicaciones que se tienen a disposición, sin embargo, la mayoría de ellas no están pensadas para el uso de personas con discapacidad.

Un ejemplo muy claro son las aplicaciones orientadas a generar rutas para la movilización de las personas en zonas urbanas; las que actualmente existen en el mercado generan rutas basándose únicamente en el medio de transporte que seleccione el usuario para generar la ruta más corta, pero ésta, la mayoría de las veces, puede no ser accesible para una persona con algún tipo de discapacidad.

Por esta razón, se considera que es necesario crear un modelo para un planificador inteligente que tome en cuenta los perfiles de los usuarios con discapacidad y que los adapte a las redes de transporte público, así como también a las rutas a pie, generando una nueva alternativa para las personas con discapacidad.

## 1.2 Objetivos

Este trabajo tiene como objetivo general, definir un modelo para un recomendador inteligente de rutas a pie o en transporte público para personas con discapacidad.

Los objetivos específicos que ayudarán a conseguir lo expuesto anteriormente son:

- Revisar el estado del arte para establecer los principales parámetros a considerar para el modelo del sistema de recomendación considerando los distintos tipos de discapacidad existentes.
- Definir los parámetros de entrada para el sistema de recomendación de modo que este disponga de toda la información necesaria para el cálculo de la generación de una ruta óptima.
- Establecer un módulo de traducción que tome los datos de entrada y los transforme al formato requerido por el sistema de recomendación.
- Establecer los algoritmos, características y procesos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema de recomendación.
- Definir un módulo de visualización que permita obtener el resultado obtenido del sistema de recomendación en diferentes formatos multimedia que faciliten la ejecución de la ruta a los usuarios.
- Desarrollar un sistema de pruebas en el que se pueda evaluar el modelo creado.

## 1.3 Metodología de la investigación

El método de investigación utilizado para la realización de este trabajo involucra una serie de pasos que permitirán obtener los resultados esperados; los mismos, se detallan a continuación:

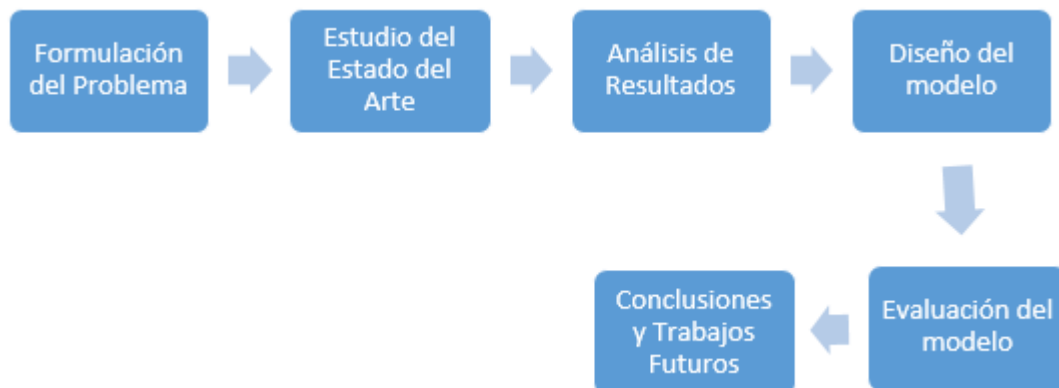


Figura 1-1: Metodología de investigación utilizada

- **Formulación del Problema:** Se establecerá la delimitación del trabajo y los objetivos que se quieren cumplir por medio de la investigación.

- **Estudio del Estado del Arte:** Se realizará una revisión de la literatura que nos permita establecer el estado actual del problema planteado.
- **Análisis de Resultados:** En base a la revisión realizada en el paso anterior, se establecerán los parámetros que debe considerar el modelo para que el sistema pueda ser utilizado por personas que padezcan los diferentes tipos de discapacidades que existen.
- **Diseño del Modelo:** En base a los resultados obtenidos se procede a la creación del modelo del sistema de recomendación de rutas para personas con discapacidad, en el que se considera el perfil de usuario para trazar la ruta que más se ajuste a sus necesidades tanto para rutas realizadas a pie como para las que se realicen a través del sistema de transporte público.
- **Evaluación del Modelo:** Se creará una aplicación que simule un ambiente ficticio en el que se pone a prueba el modelo creado en el paso anterior.
- **Conclusiones y Trabajos Futuros:** Se obtendrán las principales conclusiones relacionadas al trabajo realizado.

## 1.4 Estructura del trabajo

En esta sección se presenta una breve descripción de los capítulos a desarrollarse en el presente trabajo.

El **capítulo 2**, “Estado del arte”, se realizará un análisis para obtener un estado actual de los sistemas de recomendación existentes para el cálculo de rutas y de los parámetros que se deben tener en cuenta al momento de la generación de rutas para cada uno de los distintos tipos de discapacidad.

El **capítulo 3**, “Diseño del sistema propuesto”, muestra la aportación de este trabajo. Contiene la arquitectura general de los módulos del sistema, así como la explicación de cada uno de ellos.

El **capítulo 4**, “Evaluación del modelo”, explica el desarrollo de una aplicación de pruebas en las que se usa el modelo para generar rutas de acuerdo al tipo de discapacidad.

El **capítulo 5**, “Conclusiones y Trabajos Futuros”, contiene las conclusiones a la que se ha llegado y cuáles serían los trabajos que se pudieran desarrollar en el futuro tomando como base este trabajo.

## 2 Estado del Arte

### 2.1 Introducción

En esta sección se realizará un análisis de la literatura revisada para el desarrollo de este trabajo. En primer lugar, se resumen los distintos tipos de discapacidad que existen y cuáles son las principales características a considerar en cada una de ellas. Luego, se presenta una breve descripción de los sistemas de recomendación y su funcionamiento, haciendo hincapié principalmente en los trabajos desarrollados para planificar rutas para personas que tengan algún tipo de discapacidad, así como también de los algoritmos utilizados para el cálculo de la ruta.

### 2.2 Tipos de Discapacidad

#### 2.2.1 Conceptos Básicos y Clasificación

La OMS ha definido la *discapacidad* como “*Toda restricción o ausencia (debida a una deficiencia<sup>1</sup>) de la capacidad de realizar una actividad en la forma o dentro del margen que se considera normal para un ser humano*” [4], es decir, que se refleja un problema en el rendimiento funcional y de la actividad del individuo, generando trastornos en el ámbito de las personas.

Considerando que la definición de este concepto es amplio, la OMS establece la “Clasificación Internacional del Funcionamiento, Discapacidad y de la Salud” (CIF) cuyo objetivo principal es el de “Proporcionar un lenguaje unificado y estandarizado que sirva como punto de referencia para la descripción de la salud y los estados relacionados con la misma” [5] y que establece un esquema de múltiples interacciones entre sus dimensiones y áreas [4], tal y como se puede observar en la Figura 2-1.

Este esquema ha servido como punto de partida para que se creen nuevas clasificaciones para los tipos de discapacidad, en los que se agrupen los mismos de acuerdo a ciertas características comunes.

Una de las clasificaciones más utilizadas, es la establecida por el INEGI [6], en el que tomando como punto de partida el esquema establecido por el CIF, crean un nuevo modelo clasificador basado en grupos, subgrupos e ítems. En total existen 5 grupos:

- Grupo 1 Discapacidades sensoriales y de la comunicación: Relacionado con la capacidad para ver, oír y hablar
- Grupo 2 Discapacidades motrices: Comprende a las personas que presentan discapacidades para caminar, manipular objetos y de coordinación de movimientos para realizar actividades de la vida cotidiana.

---

<sup>1</sup> Según la OMS, la *deficiencia* es “*Toda pérdida o anomalía de una estructura o función psicológica, fisiológica o anatómica*” [4]

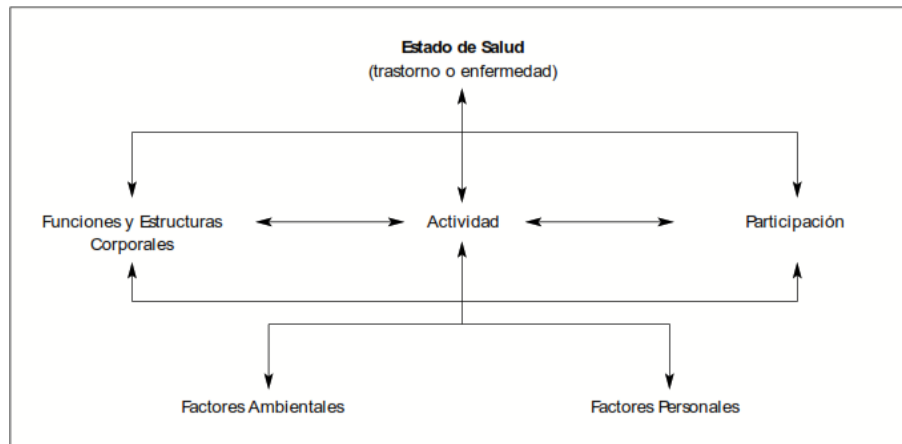


Figura 2-1: Esquema establecido por el CIF

- Grupo 3 Discapacidades mentales: Presentan discapacidades para aprender y para comportarse, tanto en actividades de la vida diaria como en su relación con otras personas.
- Grupo 4 Discapacidades múltiples y otras<sup>2</sup>
- Grupo 9 Claves especiales.<sup>3</sup>

En la Tabla 2-1, se visualiza esta clasificación.

GRUPOS	SUBGRUPOS
1 Discapacidades sensoriales y de la comunicación	Discapacidades para ver
	Discapacidades para oír
	Discapacidades para hablar
	Discapacidades de la comunicación y comprensión del lenguaje
2 Discapacidades motrices	Discapacidades de las extremidades inferiores, tronco, cuello y cabeza
	Discapacidades de las extremidades superiores
3 Discapacidades mentales	Discapacidades intelectuales
	Discapacidades conductuales y otras mentales
4 Discapacidades múltiples y otras	Discapacidades múltiples
	Otro tipo de discapacidades
9 Claves especiales	Varios

Tabla 2-1: Clasificación de las discapacidades según el INEGI [6]

<sup>2</sup> Este grupo tiene como finalidad agrupar a las personas que tienen más de una discapacidad en forma conjunta [6].

<sup>3</sup> Este grupo tiene como objetivo delimitar el universo de estudio y depurar aquellas descripciones recabadas en el campo que no corresponden al concepto de discapacidad [6].

### 2.2.2 Características más representativas

Cada uno de los grupos y subgrupos de la sección anterior poseen características específicas que se deben considerar para lograr la inclusión y participación de las personas con discapacidad en la sociedad<sup>4</sup>.

#### 2.2.2.1 Discapacidades sensoriales y de la comunicación

##### a. Discapacidades para ver

Según Martínez [7], la ceguera o discapacidad para ver es considerada por organismos internacionales como la segunda discapacidad más inhabilitante, generando que las personas que la padecen vivan experiencias traumáticas que desembocan, generalmente, en el aislamiento y depresión. Por esta razón, las autoridades pertinentes han realizado estudios con el fin de establecer formas y áreas donde las personas que padezcan esta discapacidad puedan insertarse, desenvolviéndose con autonomía y/o productividad.

En el ámbito de la tecnología, uno de los rasgos que se deben considerar es que un gran porcentaje de la información que se obtiene de ordenadores, móviles o tabletas se lo realiza por medio de la vista, por lo que se ha tenido que buscar medios alternativos para acceder a la información, para que la falta de visión no genere limitaciones [7].

Por medio de técnicas de inteligencia artificial, se ha logrado desarrollar diversos tipos de software que permiten redactar un documento a través del reconocimiento de habla o transformar texto en audio con lo que se pueden escribir y leer documentos; además, se ha logrado diseñar dispositivos que emiten señales para alertar al usuario cuando existe alguna barrera en el camino o si un semáforo ha cambiado de verde a rojo. Todo esto, ha permitido que la gente con discapacidad visual pueda ser autosuficiente [8].

##### b. Discapacidades para oír

Las personas con discapacidad auditiva carecen de la posibilidad de escuchar sonidos, por lo que son definidas, según Veinberg [9], como personas que tienen su propia modalidad de recibir y transmitir mensajes: por medio del lenguaje de señas, el mismo que es considerado como una forma viso-gestual que reemplaza a la auditivo-oral.

Los problemas auditivos que tienen las personas, no supone un problema dentro de la era tecnológica, puesto que por medio de la lectura y escritura pueden desenvolverse sin ningún problema y usar un ordenador o móvil sin tener mayores restricciones [10].

Si bien es cierto, las personas con esta discapacidad pueden emplear varias de las ventajas de la tecnología de forma autónoma, existen otras (por ejemplo, hacer una llamada telefónica desde un móvil) que han requerido que se desarrollen diversas tecnologías para eliminar estas barreras. Una de ellas, es la tecnología teletipo o TTY (Text-Telephone Technology), que permite a las

---

<sup>4</sup> Cabe recalcar que, dada la naturaleza de este trabajo, se hará especial hincapié en la inclusión de las personas con discapacidad en el ámbito tecnológico.

personas con discapacidad auditiva usar texto en lugar de la voz para comunicarse usando un teléfono [11].

### **c. Discapacidades para hablar**

Algo similar a lo que ocurre con las personas con discapacidad auditiva, sucede con las personas que sufren la discapacidad de hablar; han adoptado el lenguaje de señas como su forma para comunicarse diariamente [9].

El uso de la tecnología no supone un mayor impedimento dado que se usan las mismas metodologías que las personas con discapacidad auditiva para acceder a todas las ventajas que se ofrece con los dispositivos electrónicos; además, en la actualidad existen muchos sistemas que permiten transformar el texto a voz, lo que genera una mayor sensación de autonomía para desempeñarse en el diario vivir [11].

### **d. Discapacidades de la comunicación y comprensión del lenguaje**

Las personas que pertenecen a este grupo, tienen inconvenientes para generar, emitir y comprender mensajes de habla, por lo que se les dificulta la producción de mensajes claros y comprensibles [6].

Dentro del ámbito tecnológico, estas personas tienen las mismas características que las personas con dificultad para hablar, por lo que los rasgos más significativos y consideraciones importantes que se deben hacer para generar autonomía en esta área, corresponden a las mismas descritas en las discapacidades para hablar.

#### ***2.2.2.2 Discapacidades motrices***

Cómo se había indicado anteriormente, este grupo se divide en dos subgrupos: Discapacidades de las extremidades inferiores, tronco, cuello y cabeza y; Discapacidades de las extremidades superiores. Para el desarrollo de esta investigación, se analizará a los dos en conjunto.

Para esto, la tecnología ha presentado diversas guías y modalidades de funcionamiento como el empleo de comandos de voz o visuales que permitan a un ordenador entender las necesidades y órdenes que presenta el usuario. Este tipo de comandos facilitarían el manejo de los aplicativos de movilidad puesto que si son adaptados a los mecanismos empleados por los usuarios no existiera la necesidad de manipulación del dispositivo o aplicativo como tal, ayudando en gran medida al empleo de los mismos y evitando complicaciones para un mejor desempeño del aplicativo.

#### ***2.2.2.3 Discapacidades mentales***

##### **a. Discapacidades intelectuales**

Dentro de este apartado, se manejan las discapacidades manifestadas como retraso o deficiencia mental y pérdida de memoria, esto hace referencia a las personas que presentan una capacidad intelectual inferior al promedio de las que tienen su edad, grado de estudios y mismo nivel sociocultural. Se les dificulta realizar tareas cotidianas como asearse, realizar labores del hogar, aprendizaje escolar y desplazamiento en sitios públicos. No solo interfiere en su normal

desenvolvimiento académico sino también en actividades cotidianas como leer anuncios o instrucciones, sumar o contar objetos o dinero, escribir recados y números telefónicos, etc.

Para manejar a este tipo de usuarios se ha considerado que el sistema debe ser implementado de una manera que permita recibir al usuario instrucciones gráficas detalladas, en nuestro caso en particular, que maneja direcciones y rutas, se deberían emplear el uso de instrucciones secuenciales cortas y didácticas que permitan establecer puntos medios de éxito, es decir, indicar segmento a segmento si se está en la ruta correcta o si, en caso de desvío, encontrar la ruta adecuada para volver al camino indicado que nos permita llegar a nuestro destino.

El empleo de instrucciones secuenciales en las que se utilice una gama amplia de elementos multimedia como audio, video e imagen, le permitirá al usuario con déficit de aprendizaje ubicar su posición en cualquier momento y sentirse seguro de la ruta que está tomando.

#### **b. Discapacidades conductuales y otras mentales**

En este apartado encontramos a los usuarios que puedan tener una respuesta inadecuada hacia acontecimientos externos, dentro de este cuadro se pueden encontrar personas con paranoia o con delirios de persecución. Estos usuarios pueden experimentar perturbación de la capacidad para identificar debidamente a objetos y personas, o a las dimensiones de tiempo y espacio.

Como se había mencionado en el apartado anterior, este tipo de usuarios representan un reto puesto que pueden interpretar erróneamente una instrucción, es por ello que se requiere un seguimiento más detallado de la ruta que deben tomar con puntos intermedios de éxito, que le den la seguridad al usuario de encontrarse en la ruta indicada a su destino.

#### **2.2.2.4 Discapacidades múltiples y otras**

##### **a. Discapacidades múltiples**

Dentro del manejo de las personas con discapacidades múltiples encontramos a los usuarios que poseen una combinación de las discapacidades antes descritas. Un ejemplo de ello serían usuarios que presentan parálisis cerebral, embolias o accidentes cerebrovasculares.

El manejo de este tipo de usuario representaría una combinación de los atributos y acciones especificados para las otras discapacidades, por ejemplo, una persona que se encuentre en silla de ruedas y tenga deficiencias de aprendizaje requerirá una ruta en la que se habiliten rampas de acceso y tenga los medios adecuados para poder permitir un correcto transporte, sumado a ello se contaría con puntos detallados de control en los que se le informe al usuario que está siguiendo el camino adecuado.

##### **b. Otro tipo de discapacidades**

Pertencen a este grupo, aquellos usuarios que presenten malformaciones de cualquier parte del cuerpo, siempre y cuando no impliquen una discapacidad motriz, es decir, falta o limitación severa de movimientos.

Este tipo de usuarios serían considerados como usuarios estándar del aplicativo puesto que no poseen restricciones de movimiento, pese a que existan usuarios con afecciones al corazón dentro



de este grupo, se convierte en una tarea ajena al aplicativo el control de ejercicio por el mismo, se pudiera, sin embargo, considerar como estudios futuros la acción de un control biométrico para medir ritmo cardíaco para aquellos usuarios que disfruten de caminar y que puedan poseer este tipo de afecciones cardíacas y brindar un subsistema de recomendación que controle como está evolucionando fisiológicamente su organismo frente a una ruta determinada.

#### 2.2.2.5 *Claves especiales*

##### a. Varios

Dentro de este subgrupo se encuentran aquellas personas con discapacidad temporal, por ejemplo, un usuario que ha sufrido un accidente y tiene que usar temporalmente una silla de ruedas por causa de una fractura. El sistema se aplicaría a ellos acorde a las necesidades temporales que requieran y sería un proceso que puede revertirse para un uso estándar cuando el usuario así lo determine.

## 2.3 Sistemas de Recomendación

Los sistemas de recomendación (SR) [12] [13] son sistemas de filtro de información adaptativo<sup>5</sup>, que permiten a los usuarios obtener información relevante de un conjunto de datos, modelando de forma matemática y reproduciendo técnicamente el proceso de recomendaciones del mundo real.

Una de las principales ventajas que tienen los SR es la personalización [14], que es la adaptación de información tomando en cuenta los intereses del usuario y como punto de partida los datos iniciales ingresados previamente.

Los SR están divididos en tres etapas para su funcionamiento [14]:



Figura 2-2: Etapas de un SR

- **Recopilación de información:** En esta primera etapa el objetivo es recopilar toda la información referente al usuario que le permitirá al sistema lograr su objetivo posteriormente.
- **Recomendación:** En base a los datos obtenidos en la primera etapa, el sistema infiere las recomendaciones que se le dará al usuario, filtrando la información y mostrando al usuario únicamente lo más relevante.

---

<sup>5</sup> Un sistema adaptativo, es aquel en el sistema proporciona sugerencias sin la intervención del usuario, mientras que un sistema adaptable es aquel en el que el usuario decide el grado de adaptación en base a elección de parámetros. La mezcla de ambos, generan sistemas efectivos y eficientes. [55]

- **Grado de Satisfacción:** Esta etapa sirve para que, en base a la conformidad del usuario con la información obtenida, se pueda mejorar el sistema en base a la retroalimentación (feedback).

### 2.3.1 Información del usuario

Cómo ya se mencionó anteriormente, el punto de partida para un SR es la información obtenida inicialmente. Para ello, se deben crear perfiles de usuario en el que se defina las características más relevantes y sus preferencias. Cabe recalcar que mientras más datos de entrada se obtengan, el sistema brindará un resultado más acertado.

El perfil de usuario consta de tres componentes principales [14]:

- **Datos demográficos:** Se refiere a la información personal del usuario (edad, sexo, etnia, estudios, etc.)
- **Preferencias:** Hace referencia a la descripción de las características generales preferidas por el usuario que determinan el subconjunto de ítems relevantes para el mismo. Este proceso se lo realiza para facilitar la tarea al SR ya que se trabaja con menos datos y esto supone la obtención de mejores resultados.
- **Histórico de interacciones:** El SR guarda un historial de las solicitudes y recomendaciones generadas para el usuario en cada petición.

### 2.3.2 Clasificación de los Sistemas de Recomendación

Los sistemas de recomendación tanto en aplicaciones prácticas como en la literatura se categorizan de acuerdo a la forma en la que manejan la información, pero internamente todos parten de la siguiente estructura básica [15]:

- **Base de datos inicial:** Todo SR requiere una base de datos inicial que almacene los ítems candidatos a ser recomendados, así como toda la información específica que no dependa del algoritmo de recomendación utilizado.
- **Datos de entrada:** Se refiere a los datos obtenidos del usuario por medio del perfil de usuario, así como todas aquellas consideraciones que el sistema debe tomar en cuenta.
- **Algoritmo recomendador:** Es el algoritmo que combina la información de la base de datos inicial con los datos de entrada y genera recomendaciones personalizadas para el usuario.

A continuación, se describen los diferentes tipos de sistemas de recomendación en base a su funcionamiento:

- **Sistemas de Recomendación basados en contenido [16]:** Están basados en el análisis de contenido de los ítems candidatos a ser recomendados y los comparan con el perfil de usuario para predecir sus preferencias sobre estos elementos. De esta manera, este sistema intenta recomendar ítems similares a los que sabe, con certeza, que le gustan al usuario.

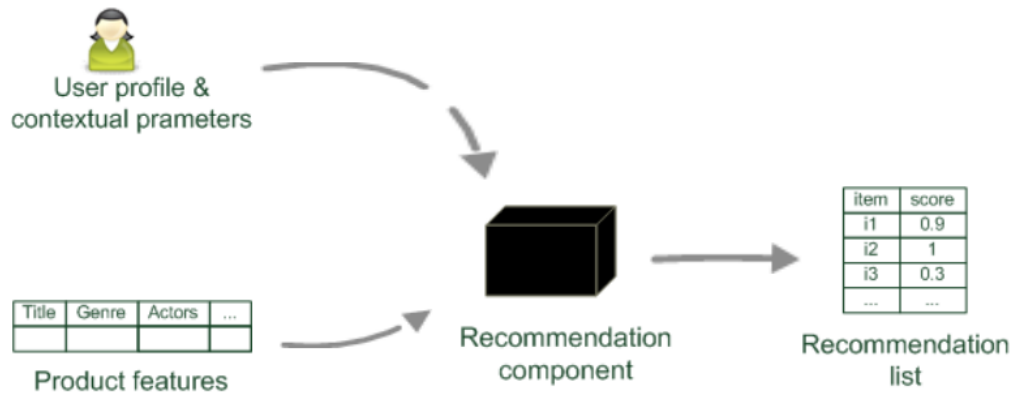


Figura 2-3:Arquitectura de un Sistema de Recomendación basados en contenido [17]

- **Sistemas de Recomendación colaborativos** [18] [19]: Los SR de colaboración de filtrado colaborativo basan sus recomendaciones en elementos seleccionados por otros usuarios con intereses similares. La principal ventaja de estos SR es que su funcionamiento es independiente de la complejidad de datos y presenta a los usuarios resultados positivos. El mayor inconveniente es que se requiere de un gran número de usuarios para su correcto funcionamiento. Son los más usados actualmente.

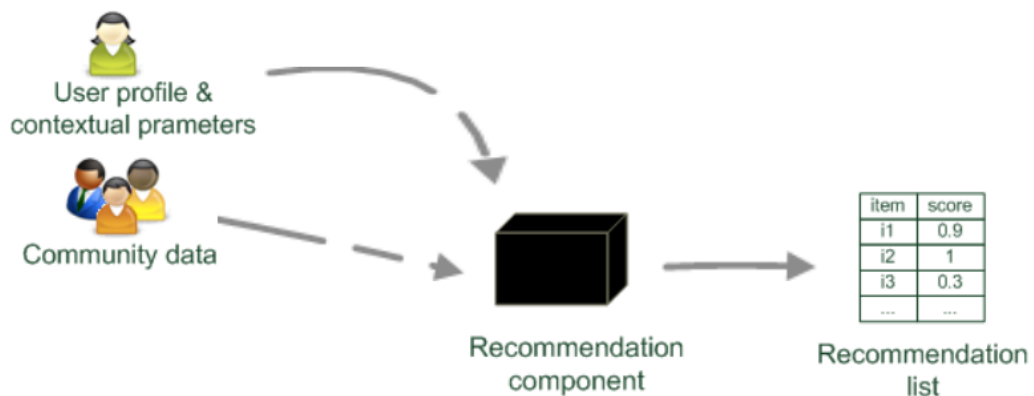


Figura 2-4:Arquitectura de un Sistema de Recomendación colaborativo [17]

- **Sistemas de Recomendación basados en el conocimiento** [20]: Los SR basados en conocimiento consideran las necesidades y preferencias de cada usuario para sugerir recomendaciones. A diferencia de otros SR, estos no dependen de la cantidad de información sobre los elementos candidatos ni de otros usuarios; lo único que necesitan es un conocimiento general sobre el grupo de ítems y un conocimiento informal de las necesidades del usuario, y por medio de un “modelo de conocimiento<sup>6</sup>” basado en algoritmos y heurísticas se determinan las opciones más convenientes para el usuario.

<sup>6</sup> El modelo de conocimiento, por lo general, media entre el modelo de usuario y las características de los elementos con el fin de obtener una recomendación que sea viable y que cumpla con todas las restricciones del usuario [20].

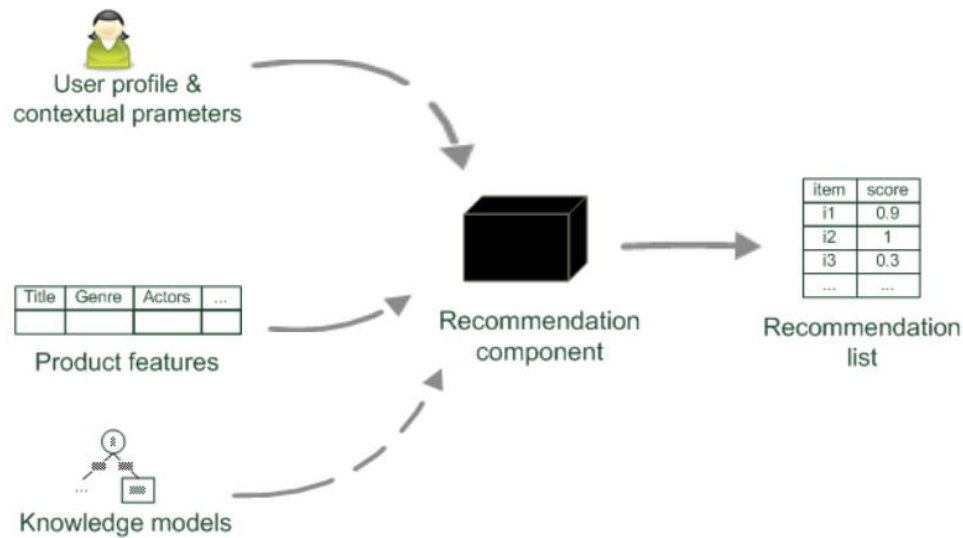


Figura 2-5: Arquitectura de un Sistema de Recomendación basado en el conocimiento [17]

Estos SR están basados en dos tipos de razonamiento:

- **Razonamiento basado en casos** [21]: Los SR realizan una búsqueda de ítems similares que dieron mayor satisfacción al usuario en el pasado, es decir, recupera casos pasados similares ya resueltos y los reutiliza para la solución del problema actual.
- **Razonamiento basado en restricciones** [22]: Se definen explícitamente un conjunto de reglas de recomendación que mapean los requerimientos del usuario a las características de los ítems. Se definen de igual manera, diferentes tipos de restricciones sobre la base de conocimiento [23]:
  - **Restricciones de compatibilidad:** Restricciones sobre las posibles combinaciones de los requerimientos de usuario.
  - **Restricciones de filtro:** Delimitan los valores que puede tomar la propiedad de un ítem según un requisito del usuario.
  - Pesos para indicar la importancia de cada requerimiento del usuario.
- **Sistemas de Recomendación Híbridos:** Los SR híbridos combinan las diferentes técnicas utilizadas en los SR descritos anteriormente con el fin de tratar de maximizar sus beneficios y reducir sus debilidades.

### 2.3.3 Evaluación de los Sistemas de Recomendación

Tomando en cuenta que los SR son una herramienta usada en varios ámbitos, aún no existen estándares definidos para su evaluación; por lo general, para esta etapa se suelen utilizar uno de los métodos que se describen a continuación [24]:

- **Métodos estadísticos:** Dentro de este grupo, el parámetro de evaluación más utilizado es el error medio absoluto (Mean Absolute Error, MAE), que se encarga de medir la desviación

de las recomendaciones predichas y los valores reales. A menor MAE mejor predice el sistema.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N p_i - q_i}{N}$$

*Ecuación 2-1: Ecuación para cálculo de Error Medio Absoluto, donde  $p_i$  representa la predicción del rating del ítem  $i$ ,  $q_i$  es el rating dado por el usuario y  $N$  es la cardinalidad del conjunto de prueba.*

Sin embargo, este parámetro puede dar una idea distorsionada del algoritmo para el caso de sistemas que tienen como objetivo encontrar una lista de buenos elementos recomendables, puesto que el usuario tan sólo se interesaría en los  $N$  primeros elementos de la lista y el resto le sería indiferente.

- **Métricas de decisión:** Este método evalúa un sistema de recomendación verificando con qué frecuencia el SR efectúa recomendaciones correctas. Para ello, asumen que el proceso de predicción es binario, es decir, si el elemento recomendado agrada o no al usuario. En la mayoría de los casos, para usar este método se divide el conjunto de datos en dos, entrenamiento y test; de esta manera, se desarrolla el sistema con los datos de entrenamiento, para posteriormente evaluarlo comparando las recomendaciones proporcionadas con las del conjunto de test. La métrica más conocida es la de “Precisión y Recall”, donde la precisión es la probabilidad de que un elemento seleccionado sea relevante y el recall es la probabilidad de que sea seleccionado un elemento relevante. Para el cálculo de las mismas se utilizan la Ecuación 2-2 y Ecuación 2-3<sup>7</sup>.

$$precisión = \frac{tp}{tp + fp}$$

*Ecuación 2-2: Ecuación para el cálculo de la precisión*

$$recall = \frac{tp}{tp + fn}$$

*Ecuación 2-3: Ecuación para el cálculo de recall*

Ambas métricas también suelen usarse de forma combinada denominada F1; está surge ya que un mejor resultado en recall genera un peor resultado en precisión y viceversa. F1 obtiene una medida única que permite realizar comparaciones entre diferentes algoritmos de una forma más simple.

$$F1 = 2 \times \frac{precisión \times recall}{precisión + recall}$$

*Ecuación 2-4: Ecuación para cálculo de F1*

<sup>7</sup> En las ecuaciones la variable  $tp$  hace referencia a todos los ítems relevantes recomendados,  $tp + fp$  representa los ítems recuperados y  $tp + fn$  los ítems relevantes existentes.

## 2.4 Sistemas de Recomendación Semánticos

En la sección anterior se describieron los diferentes sistemas de recomendación básicos, sus principales características y funcionamiento. También se describieron algunas de las limitaciones que tienen cada uno de ellos, las mismas que han llevado en los últimos años a utilizar nuevas técnicas para solventarlas. De esta manera surgen los sistemas de recomendación semánticos (SRS).

Los SRS se fundamentan en una base de conocimiento, sobre la cual se hace uso de herramientas de la web semántica<sup>8</sup> para enriquecer los perfiles de usuario a través del uso de ontologías<sup>9</sup> [25].

### 2.4.1 Características de los Sistemas de Recomendación Semánticos

Para introducir la Web Semántica a los procesos de recomendación de los SRS se han adoptado estrategias que responden diversos criterios [26]:

- El tipo de base de conocimiento sobre el que se sostiene
- La caracterización del perfil de usuario
- Las técnicas adoptadas para la representación de los ítems.
- Estrategias de *matching* entre los ítems y los usuarios.

### 2.4.2 Uso de las Ontologías en los Sistemas de Recomendación Semánticos

El enriquecimiento de la información que puede lograrse es la principal razón para el uso de las ontologías en los SR. Se definen principalmente dos clasificaciones:

- Sistemas basados en redes de confianza
- Sistemas adaptables al contexto

#### 2.4.2.1 Sistemas de recomendación basados en redes de confianza

Cómo se mencionó en la sección anterior, existen diversos inconvenientes que se tiene con los SR básicos por lo que, para evitar esto y poder mejorarlo, se ha propuesto realizar la unión de una folcsonomía<sup>10</sup>, es decir, se usan bases de conocimiento con descripciones, categorizaciones, etc. para enriquecer las ontologías. De esta forma se crea una “nube” que contiene etiquetas, las mismas que serán usadas para la construcción de perfiles mejorados, consiguiendo así que se obtenga un mejor perfil, y en consecuencia, una mejor recomendación [27].

#### 2.4.2.2 Sistemas adaptables al contexto

Estos SRS analizan y toman en consideración los diferentes factores que se pueden dar para inferir el contexto en que se encuentra el usuario y de esta forma adaptar la recomendación a las

---

<sup>8</sup> El texto The Semantic de Kashyap y otros [56] mencionan que: “La Web Semántica está definida como una extensión de la web actual en la cual, a la información se le da un significado bien definido, permitiendo que las personas y ordenadores trabajen juntos de una mejor manera”

<sup>9</sup> Una ontología es un esquema conceptual con un orden determinado basado en etiquetas predefinidas, que abarca uno o varios dominios, con el objetivo de favorecer la comunicación de información entre diferentes sistemas y entidades [57].

<sup>10</sup> Indexación social

circunstancias, sean estas el nivel de experiencia del usuario, dispositivos, etc. Esto se realiza con el fin de obtener mejores resultados ya que el sistema se adapta a las necesidades del usuario.

Por ejemplo, en el modelo establecido por Kim y Kwon [28] se usan cuatro ontologías para adaptar cada una de las circunstancias que se pueden dar de acuerdo a los intereses del usuario, así se tiene una ontología para los ítems, otra para definir los contextos de uso, una tercera para el registro histórico de actividades de cada usuario en el sistema y finalmente una sobre todos los usuarios.

## 2.5 Sistemas de recomendación aplicados a la movilidad de personas con discapacidad

Para esta sección se realizó una revisión sistemática de la literatura<sup>11</sup> que permite categorizar y resumir la información existente sobre un tema en específico. Para esto se ha tomado como base las guías proporcionadas por Petersen [29].

### 2.5.1 Fase de Planificación

Los sistemas de recomendación, cómo se explicó en la sección anterior, son utilizados hoy en día para ayudar a los usuarios a seleccionar elementos de una gran cantidad de opciones en diversas áreas [30]. Una de ellas es la de recomendar rutas inteligentes para moverse entre dos puntos para usuarios con discapacidad, considerando los distintos perfiles que pueden existir.

Existen varios estudios relacionados en esta área en la que se han diseñado y/o implementado recomendadores inteligentes de rutas para personas con discapacidad con diversos algoritmos, por lo que en esta sección se pretende realizar una comparativa de los mismos clasificándolos de acuerdo al tipo de discapacidad del usuario final, así como de los algoritmos que se han utilizado.

#### 2.5.1.1 Pregunta de investigación

Tomando como referencia [29] y [31], se han establecido las preguntas de investigación:

RQ1: ¿Qué recomendadores inteligentes de rutas existen dependiendo del tipo de discapacidad de los usuarios?

RQ2: ¿Qué algoritmos se han utilizado para el desarrollo de recomendadores inteligentes de rutas?

#### 2.5.1.2 Identificación y selección de Estudios primarios

La principal fuente de búsqueda que se ha usado para la revisión del estado del arte ha sido Scholar Google y ACM Digital. La cadena de búsqueda que se definió para obtener los estudios es:

- Scholar Google: (+route +planning) AND ("less able" or disabilit\*) and ("outdoor") desde el año 2014: 490 resultados

---

<sup>11</sup> Bárbara Kitchenham, en 2004, propuso un conjunto de directrices para llevar a cabo estudios de la literatura de un tema en específico, las mismas que están basadas en otras metodologías similares en disciplinas como las ciencias sociales o la medicina. Hoy en día esta metodología está siendo ampliamente usada por parte de la comunidad investigadora [29].

- ACM Digital: acmdlTitle:(+route +planning) AND recordAbstract:(less able travellers) desde el año 2010: 30 resultados

### 2.5.1.3 Criterios de inclusión y exclusión

#### **Inclusión**

- Estudios en los que se haya diseñado y/o implementado un recomendador inteligente de rutas para personas con discapacidad.
- Full papers

#### **Exclusión**

- Estudios introductorios para problemas específicos
- Estudios repetidos.
- Estudios cortos con menos de 4 páginas
- Estudios no escritos en inglés
- Estudios que de acuerdo a su fecha de publicación no tengan citas considerables considerando el h-index del autor.

### 2.5.1.4 Estrategia de Extracción de datos

Para definir la estrategia de extracción de datos se realizó la descomposición de la pregunta de investigación en criterios más específicos, estableciendo un conjunto de posibles soluciones, el mismo que se puede visualizar en la Tabla 2-2.

<b>Pregunta de Investigación</b>	<b>Criterio</b>	<b>Opciones</b>
<i>RQ1: ¿Qué recomendadores inteligentes de rutas existen dependiendo del tipo de discapacidad de los usuarios?</i>	C1: Sistemas de recomendación de rutas para usuarios de acuerdo al tipo de discapacidad	Visual
		Auditiva
		Física
		Otros: Intelectual, Psíquica
<i>RQ2: ¿Qué algoritmos se han utilizado para el desarrollo de recomendadores inteligentes de rutas?</i>	C2: Algoritmos utilizados para el diseño y/o implementación de recomendadores de rutas inteligentes	A*
		Redes Bayesianas
		Dijkstra
		Algoritmo Estándar
		Network Science
		D*
Vecino más próximo		

Tabla 2-2: Criterios de Extracción. Mapeo Sistemático.

### 2.5.1.5 Métodos de síntesis

Se ha aplicado métodos de síntesis cuantitativo y cualitativos.

La síntesis cuantitativa se basó en:

- Contar el número de artículos primarios que hayan realizado un sistema de recomendación para el cálculo de rutas a pie o en transporte público para personas que tengan alguna discapacidad.



- Contar el número de artículos primarios de acuerdo al tipo de discapacidad al que se haya enfocado la investigación.
- Definir gráficos estadísticos que permitan visualizar los resultados en cada uno de los criterios establecidos.

La síntesis cualitativa está basada en la revisión de los resultados obtenidos en cada estudio primario para analizar de acuerdo al tipo de discapacidad los sistemas de recomendación que se han realizado y cuáles han sido los algoritmos utilizados para el cálculo de ruta.

### 2.5.2 Fase de Conducción

La búsqueda realizada en las diferentes fuentes de información consideradas para la obtención de estudios primarios se la realizó el día 20 de abril de 2017, obteniéndose los siguientes resultados:

- En Scholar Google, aplicando la cadena de búsqueda, se obtuvieron un total de 490 resultados.
- En AMC Digital, aplicando la cadena de búsqueda, se obtuvieron un total de 30 resultados.

En total se consideraron 15 estudios, de los cuáles algunos de ellos han sido publicados en más de una revista o conferencia, por lo que se ha considerado únicamente la versión completa del estudio. Cabe recalcar que algunos de los estudios aparecían en las dos fuentes seleccionadas, por lo que únicamente fueron tomados en cuenta una vez.

### 2.5.3 Trabajos Relacionados

Los 15 estudios seleccionados han basado su investigación en sistemas de recomendación de rutas inteligentes y 12 de ellos, han considerado el perfil de una persona con algún tipo de discapacidad dentro de su estudio. Los valores utilizados en esta sección se los puede observar en la Tabla 2-3, en la que se describe el número de estudios por cada posible respuesta así como también el porcentaje que representa este valor del total. Cabe recalcar, que estos porcentajes se los ha calculado con tomando en consideración los datos obtenidos de la Tabla 2-4 y la Tabla 2-5, por lo que la suma de los mismos no nos dará el 100%, ya que existen estudios que tienen más de una posible respuesta.

<b>Criterio</b>	<b>Posibles Respuestas</b>	<b># Estudios</b>	<b>% Porcentaje</b>
<i>C1: Sistemas de recomendación para usuarios de acuerdo al tipo de discapacidad</i>	Visual	8	66,67%
	Auditiva	2	16,67%
	Física	8	66,67%
<i>C2: Algoritmos utilizados para el diseño y/o implementación de recomendadores de rutas inteligentes</i>	A*	4	26,67%
	Dijkstra	5	33,33%
	Algoritmo Estándar	5	33,33%
	Redes Bayesianas	1	6,67%

Network Science	1	6,67%
D*	1	6,67%
Vecino más próximo	1	6,67%

Tabla 2-3: Comparación de artículos revisados

En lo que respecta a C1, “Sistemas de recomendación para usuarios de acuerdo al tipo de discapacidad”, los resultados indican que se han desarrollado un mayor número de sistemas de recomendación de rutas inteligentes para personas con discapacidad visual y física. El 66.67%, se han centrado en esta área, mientras que el 16.67% en la discapacidad auditiva. El resultado del análisis de cada uno de los artículos revisados se lo puede observar en la Tabla 2-4.

Autores	Visual	Auditiva	Física
<b>Idrees, Affan, Zahid Iqbal, Maria Ishfaq.(2015) [32]</b>	X		
<b>Ferrari, L., Berlingerio, M., Calabrese, F., &amp; Reades, J. (2014) [33]</b>			X
<b>Karimi, H. A., Dias, M. B., Pearlman, J., &amp; Zimmerman, G. J. (2014) [34]</b>	X		X
<b>Holone, H., &amp; Misund, G. (2008) [35]</b>			X
<b>Mancini, A., &amp; Zingaretti, P. (2014, September). [36]</b>	X		X
<b>Karimanzira, D., Otto, P., &amp; Wernstedt, J. (2006, February) [37]</b>	X	X	X
<b>Kilinçarslan, M. (2007) [38]</b>	X		
<b>Kammoun, S., Dramas, F., Oriolaand, B., &amp; Jouffrais, C. (2010, October). [39]</b>	X		
<b>Menkens, C., Sussmann, J., Al-Ali, M., Breitsameter, E., Frtunik, J., Nendel, T., &amp; Schneiderbauer, T. (2011, April). [40]</b>			X

<b>Adam D. Sobek , E. Harvey J. Miller, (2006,Abril) [41]</b>			X
<b>Kulyukin, V., &amp; Nicholson, J. (2012) [42]</b>	X		
<b>Neis, P., &amp; Zielstra, D. (2014) [43]</b>	X	X	X

Tabla 2-4: Sistemas de recomendación para usuarios de acuerdo al tipo de discapacidad

En la Figura 2-6, se puede observar de forma resumida los valores de la Tabla 2-4.

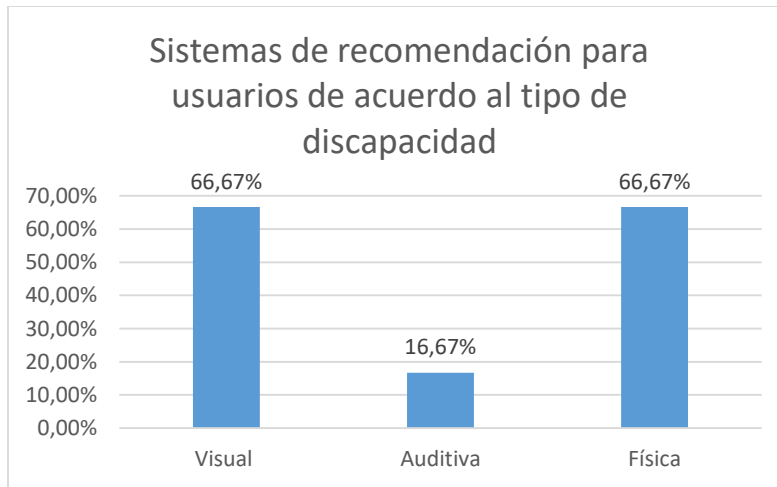


Figura 2-6: Cuadro estadístico para C1.

En lo que concierne a C2, “Algoritmos utilizados para el diseño y/o implementación de recomendadores de rutas inteligentes”, el 33.33% de los artículos revisados utilizan el algoritmo Dijkstra o algoritmos estándares diseñados por los autores, en los que por medio de diferentes heurísticas han implementado soluciones factibles. El algoritmo A\*, también tiene una gran acogida con un 26.67% de los artículos revisados. En realidad, muchos artículos realizan una comparación entre A\* y Dijkstra, obteniendo resultados sumamente similares entre ellos. El resto de algoritmos utilizados (Redes Bayesianas, Network Science, D\* y Vecino más próximo), son usados raramente. El resultado de este análisis se lo puede observar en Tabla 2-5.

<i>Autores</i>	A*	Dijkstra	Algoritmo Estándar	Redes Bayesianas	Network Science	D*	Vecino más próximo
<i>Idrees, Affan, Zahid Iqbal, Maria Ishfaq.(2015) [32]</i>	X		X				
<i>Hsu, F. M., Lin, Y. T., &amp; Ho, T. K. (2012) [44]</i>				X			X

<i>Ferrari, L., Berlingero, M., Calabrese, F., &amp; Reades, J. (2014) [33]</i>					X		
<i>Karimi, H. A., Dias, M. B., Pearlman, J., &amp; Zimmerman, G. J. (2014) [34]</i>						X	
<i>Holone, H., &amp; Misund, G. (2008) [35]</i>			X				
<i>Mancini, A., &amp; Zingaretti, P. (2014, September). [36]</i>	X						
<i>Karimanzira, D., Otto, P., &amp; Wernstedt, J. (2006, February) [37]</i>	X	X					
<i>Kilinçarslan, M. (2007) [38]</i>	X						
<i>Kammoun, S., Dramas, F., Oriolaand, B., &amp; Jouffrais, C. (2010, October). [39]</i>			X				
<i>Liu, L., &amp; Meng, L. (2009). [45]</i>		X					
<i>Menkens, C., Sussmann, J., Al- Ali, M., Breitsameter, E., Frtunik, J., Nendel, T., &amp; Schneiderbauer, T. (2011, April). [40]</i>			X				
<i>Adam D. Sobek , E. Harvey J. Miller, (2006, April) [41]</i>		X					

<i>Kasemsuppakorn, P., &amp; Karimi, H. A. (2013) [46]</i>			X				
<i>Kulyukin, V., &amp; Nicholson, J. (2012) [42]</i>			X				
<i>Neis, P., &amp; Zielstra, D. (2014) [43]</i>			X				

Tabla 2-5: Algoritmos utilizados para el diseño y/o implementación de recomendadores de rutas inteligentes

En la Figura 2-7 se puede observar de forma resumida los valores de la Tabla 2-5.

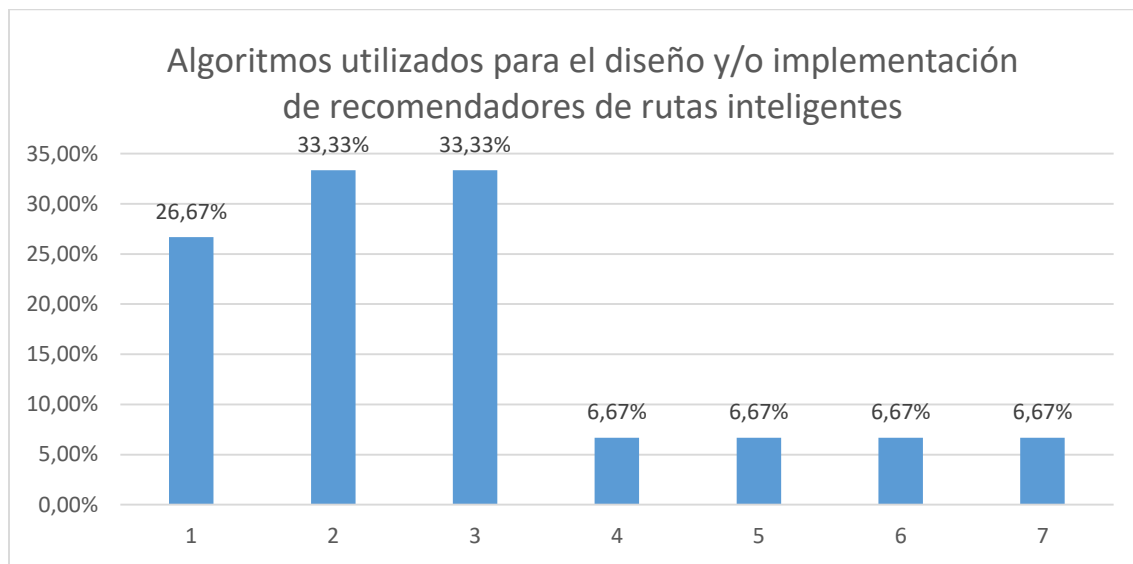


Figura 2-7: Cuadro estadístico para C2.

### 2.5.4 Discusión

Los resultados obtenidos en el mapeo sistemático muestran que los algoritmos utilizados en la construcción de sistemas de recomendación para personas con discapacidad, corresponden a algoritmos que ofrecen los mejores resultados al ser utilizados en el cálculo de la ruta entre dos puntos geográficos. A pesar de que existen varios estudios relacionados en esta área, no se ha establecido que ninguno de los sistemas realizados sea mejor que otro en ninguna de las etapas.

Esto se debe en parte, a que los sistemas analizados son distintos, debido a que cada uno satisface diferentes necesidades de los usuarios que lo utilizan, emplean diferentes métodos para cubrir estas necesidades y además son usados para ambientes diferentes como espacios interiores y exteriores. En lo relacionado a los algoritmos utilizados en los sistemas de recomendación, el más utilizado es el algoritmo Dijkstra debido a que permite obtener óptimos resultados, de igual manera los algoritmos estándar o creados basados en heurísticas fueron igualmente utilizados debido a que al ser personalizados obtienen buenos resultados en las características que se desea optimizar.

Mancini [36], en su trabajo propone un framework para asistir a las personas que tienen impedimentos de movilidad en la navegación de un punto a otro. El framework se basa en la creación de un mapa de carretera con diferentes niveles de detalle, el cual puede ser modificado en tiempo de ejecución si existe un obstáculo que dificulta utilizar el plan inicial. Utilizan un algoritmo A\* para encontrar la ruta óptima entre los puntos.

Por su parte Kulyukin [42] en su obra, contribuye a la investigación de una hipótesis, la cual plantea que, si una ruta se describe verbalmente de manera clara y detallada, los viajeros con discapacidad visual pueden utilizar sus habilidades de orientación, movilidad y resolución de problemas para seguir la ruta detallada con éxito. Presenta un algoritmo estándar que es utilizado para encontrar nuevos caminos en las rutas anteriormente mencionadas.

En su estudio Huns [44], diseña e implementa un sistema personalizado de recomendación inteligente que permite desarrollar un sistema de apoyo a la toma de decisiones para atracciones turísticas, debido a que reduce costos innecesarios relacionados a la búsqueda de información y permite satisfacer de mejor manera las necesidades y preferencias de los usuarios cuando seleccionan atracciones turísticas. Los usuarios deben identificar una comunidad con la cual se compartan intereses y características, a continuación, el sistema examina las sugerencias de la comunidad, utilizando el algoritmo del vecino más cercano para así comparar datos almacenados y asignar a cada usuario la comunidad con la que comparten la mayor cantidad de características, para que este usuario pueda recibir sugerencias y recomendación de los usuarios que pertenecen a la misma comunidad. Utilizan redes bayesianas para evaluar y comparar los factores que afectan el comportamiento del consumidor.

Karimanzira [37], presenta una investigación enfocada en el desarrollo de una forma de ayuda que incremente la independencia de movilidad de las personas con discapacidad antes y durante un viaje proveyéndoles información útil. Utiliza un sistema de decisión difusa para eliminar vías no viables dependiendo del tipo de discapacidad que presenten. Para encontrar el camino óptimo utilizan una modificación del algoritmo A\* o Dijkstra.

Mientras que Idrees [32], en su trabajo propone un prototipo para personas con discapacidad que les permite movilizarse en espacios interiores utilizando códigos QR, estos se encuentran situados en secciones del piso después de distancias específicas y actúan como entrada de la ubicación actual para permitir la detección y navegación. Cuando el código QR es escaneado le proporciona al usuario la información y ubicación de su posición actual y a continuación le pregunta y espera respuesta para el próximo destino, por medio de un algoritmo A\* le ofrece al usuario el camino más corto a su próximo destino.

Neis [43], en su obra propone un algoritmo para la generación de una red de enrutamiento amigable para personas discapacitadas, basado en geodatos recolectados por medio de colaboración, proporcionados por el proyecto OpenStreetMap (OSM). Esta nueva representación de un gráfico de enrutamiento se puede utilizar en numerosas aplicaciones y mapas dedicados a personas con discapacidad. El algoritmo fue probado y evaluado para áreas seleccionadas en Europa, dando lugar a redes extendidas nuevamente generadas que incluyen información de la acera. El mismo se observa en Figura 2-8.

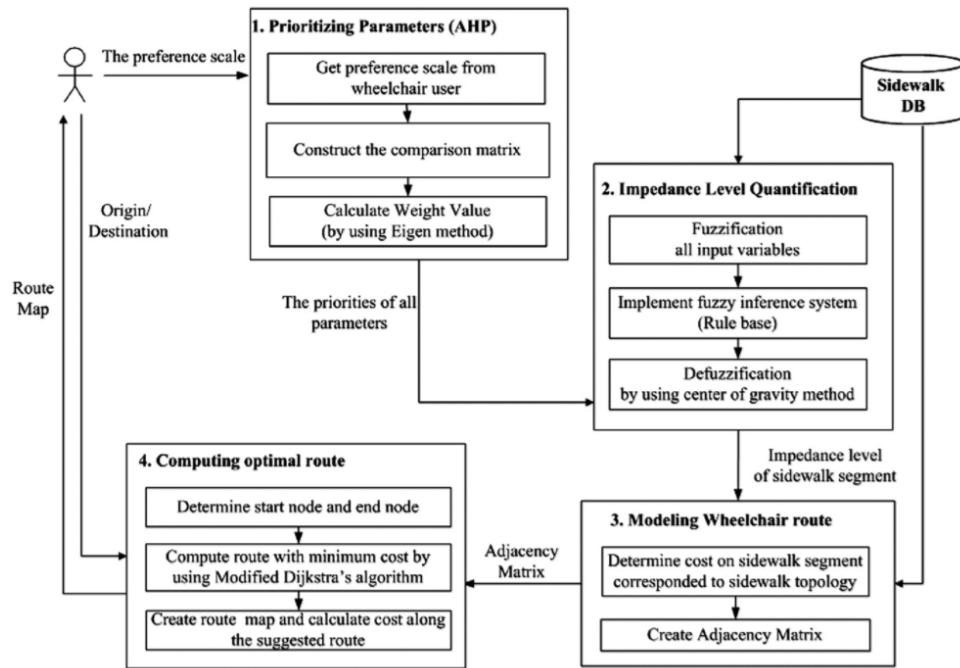


Figura 2-8: Representación de gráfico de enrutamiento [46].

Por otro lado, Kammoun [39], describe un algoritmo de enrutamiento adaptado para peatones con discapacidad visual basado en las necesidades de estos usuarios. Su objetivo era encontrar la ruta más adaptada que conecte los puntos de origen y destino, y que puede proporcionar a las personas con discapacidad visual una representación mental escasa pero útil del itinerario y el entorno que los rodea. La ruta óptima fue seleccionada utilizando el algoritmo de Dijkstra. Este método se utilizará en NAVIG (Navegación Asistida por Visión Artificial y GNSS), un dispositivo de ayuda para las personas con discapacidad visual, cuyo objetivo es mejorar la orientación, la movilidad y la localización de los objetos.

Kilincarslan [38], en su obra discute el uso de dos algoritmos, primero el uso de un algoritmo A\* que describe la ruta completa de un punto a otro y a continuación el uso del algoritmo estándar utilizado en tiempo de ejecución para personas con discapacidad visual. Se utilizó un centro comercial como caso de estudio para esta investigación y el algoritmo fue probado en el entorno desarrollado. Las pruebas se basan en simulaciones realizadas con los datos recogidos por medio del entorno del laboratorio.

Kasemsuppakorn [46] en su trabajo, ha desarrollado y comparado tres métodos para el cálculo de rutas personalizadas para la navegación en sillas de ruedas, teniendo en cuenta no solo las rutas más cortas, sino también, el estado de la acera, la existencia de obstáculos y las rampas, además de las preferencias del usuario como menos tráfico, menos cuestas, etc.

En estos tres modelos, se pueden observar las mismas cuatro etapas, aunque se llevan a cabo en orden diferente:

- Priorizar los parámetros sobre las características de las aceras y las preferencias del usuario.

- Calcular el nivel de impedancia para cada segmento de acera, es decir, otorgarle una puntuación en función de las preferencias anteriores. Esta es la principal diferencia de los métodos ya que cada uno de ellos las calcula de manera diferente.
- Modelar las rutas para sillas de ruedas. Se genera un grafo y una matriz de adyacencia.
- Calcular la ruta óptima.

Los métodos que han desarrollado son Absolute Restriction Method (ARM), Relative Restriction Method (RRM) y Path Reduction Method (PRM). En ARM y RRM las fases se llevan a cabo tal y como se aprecia en la Figura 2-9. Aunque siguen el mismo orden presentan formas diferentes de modelar rutas y de calcular el nivel de impedancia.

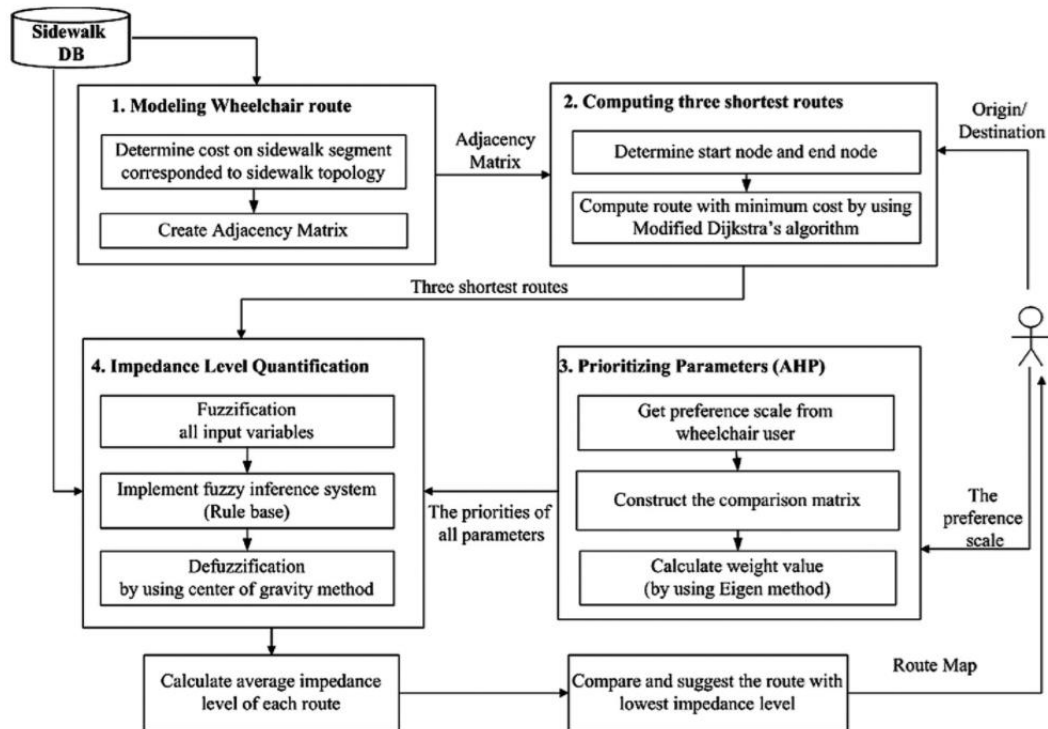


Figura 2-9: Representación de PRM. [46].

A la hora de realizar el cálculo de la ruta óptima utilizan una modificación del algoritmo de Dijkstra. Los autores han optado por ese algoritmo ya que es el que mejor resultados otorga a la hora de calcular la ruta más corta en un grafo con pesos no negativos y que, además, garantiza la mejor solución. Para reducir el coste de computación, han modificado este algoritmo para que solo compute las tres rutas más cortas.

Para realizar la comparación, los autores llevaron a cabo varios experimentos en los que concluyeron que el método ARM era el que mejor resultados obtenía, ya que realiza el modelado de las rutas una vez establecidas las preferencias del usuario y por lo tanto, las rutas calculadas eran acorde a las necesidades del mismo. Este método iba seguido de PRM, que presentaba el problema de que, al realizar el modelado de las rutas y el cálculo de las tres rutas más cortas primero se descartaban rutas más largas, pero que presentaban características que se adaptaban mejor a las



preferencias del usuario, y, por último, el método RRM probó no ser un método útil para el cálculo de este tipo de rutas.

Por otro lado, Holone [35], en su trabajo, ha combinado mapas de accesibilidad y routing planning para personas con problemas de movilidad. Los autores han desarrollado un prototipo que presenta un software cliente y un servidor encargado del cálculo de rutas. Este prototipo permite al usuario añadir anotaciones para mejorar el cálculo de rutas.

El servidor utiliza un algoritmo estándar para encontrar la ruta más corta entre dos puntos en una red geográfica. El cálculo de la ruta más corta se realiza mediante la distancia por lo que trata segmentos inaccesibles como si fueran más largos de lo que en realidad son y así evita localizaciones inaccesibles para el usuario cuando hay una ruta alternativa.

Una vez realizada la ruta los usuarios pueden añadir feedback al servidor indicando si la ruta era buena, incomoda o inaccesible, mejorando así los datos que este presenta. Tras varias pruebas realizadas tanto indoor como outdoor, los autores han demostrado el potencial del prototipo.

Karimi [34], en su obra se centra en el cálculo de rutas y navegación para personas con discapacidad visual como para problemas de movilidad. En este trabajo se desarrolla un prototipo híbrido, que no solo realiza el cálculo de la mejor ruta, tanto dentro de un edificio como en la calle, mediante el uso del algoritmo D\*, si no que permite a los usuarios compartir rutas, puntos y áreas de interés, donde se indica las posibilidades de accesibilidad, retos de movilidad, etc. que permita a otros usuarios elegir mejor la ruta. Los autores creen que este trabajo permitirá encontrar mejores soluciones a la hora de encontrar rutas óptimas para personas con discapacidad.

Neis [43], por su parte, presenta un algoritmo para el cálculo de rutas para personas con discapacidad. Este algoritmo presenta dos etapas. En la primera, Data preparation, se genera una red de rutas y se evalúa si los segmentos de calle presentan parámetros adicionales que pueden ser importantes como es el la existencia de aceras o el tipo de superficie. En la segunda etapa genera rutas que pueden ser utilizadas para personas con discapacidad en base a toda la información relevante que se ha obtenido en el paso anterior. Los autores concluyen que al aplicar un algoritmo para el cálculo de rutas se obtienen mejores resultados que al utilizar el algoritmo sobre una red de rutas común.

Ferrari [33], presenta un método que establece un ranking sobre la accesibilidad, para personas con sillas de ruedas, de las diferentes rutas de una ciudad. Como caso de estudio utiliza la ciudad de Londres y la información de los propios usuarios, tiempo del trayecto, trasbordos, etc. Como criterio de optimización utilizan la ruta más rápida, número de máximos trasbordos, máximo tiempo andando y velocidad al caminar. Los autores proponen el uso de ese ranking junto con el planeador de rutas de la propia ciudad de manera que se mejoren los resultados.

Sobek [41], propone un planeador de rutas en web para personas con problemas de movilidad. Para ello utiliza el algoritmo de Dijkstra ya que es el que mejor resultados presenta. Además, permite a los usuarios visualizar la ruta y encontrar problemas en esta que el algoritmo no ha tenido en cuenta. Los autores indican que esta aplicación todavía no es válida para personas con problemas de la vista.

Finalmente, Menkens [40] presenta, una aplicación web que permite encontrar la ruta óptima para personas en sillas de ruedas. Esta aplicación permite a los usuarios visualizar/añadir puntos de interés, para informar a otros usuarios de problemas o de lugares de interés. Para garantizar la mejor ruta y que no se van a encontrar obstáculos, los autores utilizan el proyecto *Barrierefreie Wegplanung* basado en el algoritmo A\* y que además tiene en cuenta las características de la calle/acera, los obstáculos o posibles problemas identificados por otros usuarios.

### 2.5.5 *Consideraciones a tomar en cuenta*

Con el análisis desarrollado, podemos decir que a pesar de que se han realizado varios diseños e implementaciones de sistemas, aún existen muchos campos en los que se debe seguir trabajando y se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Es necesario optimizar el modelado de aceras y pasos peatonales, debido a que en la mayoría de trabajos revisados no son mencionados y en los demás, se modelan de manera muy superficial.
- Refinar la detección de obstáculos para personas con discapacidad visual e integrar diferentes planificadores comparando el rendimiento.
- Diseñar un sistema de recomendación que permita personalizar la búsqueda de rutas de acuerdo al tipo de discapacidad.
- Diseñar sistemas multiplataforma, debido a que facilitaría el uso de los mismos.

## 3 Diseño del Sistema Propuesto

En esta sección, se explica el diseño de un sistema recomendador inteligente de rutas a pie o en transporte público para personas con discapacidad. Se describen sus componentes principales indicando cuáles son los parámetros de entrada que se recibe, el funcionamiento del modelo de conocimiento y el sistema de recomendación, así como también las consideraciones que se deben tomar en cuenta para mostrar los resultados finales al usuario considerando el perfil del mismo.

### 3.1 Sistema Base

Para la realización y adaptación del recomendador inteligente se ha tomado como base el trabajo realizado por Káthia de Oliveira y otros “Transportation ontology definition and application for the content personalization of user interfaces” [47], en el cuál se realiza el modelo de una ontología para generar interfaces de usuario personalizadas para sistemas interactivos de transporte urbano; la ontología de transporte se utiliza para proporcionar la personalización del contenido mediante la arquitectura model-driven<sup>12</sup> (MDA).

El modelo utilizado integra conocimientos específicos sobre el sistema de transporte y la información sobre el usuario y el contexto en el que el sistema se está utilizando. De esta manera se definen tres niveles de abstracción MDA:

- Modelo de cálculo independiente (CIM), para establecer la interacción del usuario con un alto nivel de abstracción, representado como un modelo de tareas de interfaz de usuario.
- Modelo independiente de plataforma (PIM), para introducir la estructura de la interfaz de usuario utilizando personalización de contenido.
- Modelo específico de plataforma (PSM), para especificar la interfaz de usuario para una plataforma específica.

De esta manera el sistema definido por De Oliveira [47], utiliza Business Process Management Notation (BPMN) para el CIM, debido a su capacidad para representar el flujo de información a través de tareas, mediante las cuales se permite determinar qué parte del conocimiento sobre el dominio del transporte debe usarse en las tareas. Para el caso de los modelos PIM y PSM, se utiliza UIML (User Interface Markup Language), un lenguaje general para describir la interfaz de usuario que facilita el trabajo con información dinámica.

---

<sup>12</sup> La arquitectura model-driven es un enfoque que permite especificar un sistema independientemente de la plataforma que lo soporta [58].

## 3.2 Diseño conceptual y estructura modular del sistema de recomendación propuesto

Tomando en consideración la naturaleza de este trabajo y el sistema base descrito en la sección anterior se propone un sistema de recomendación semántico estructurado como muestra la Figura 3-1.

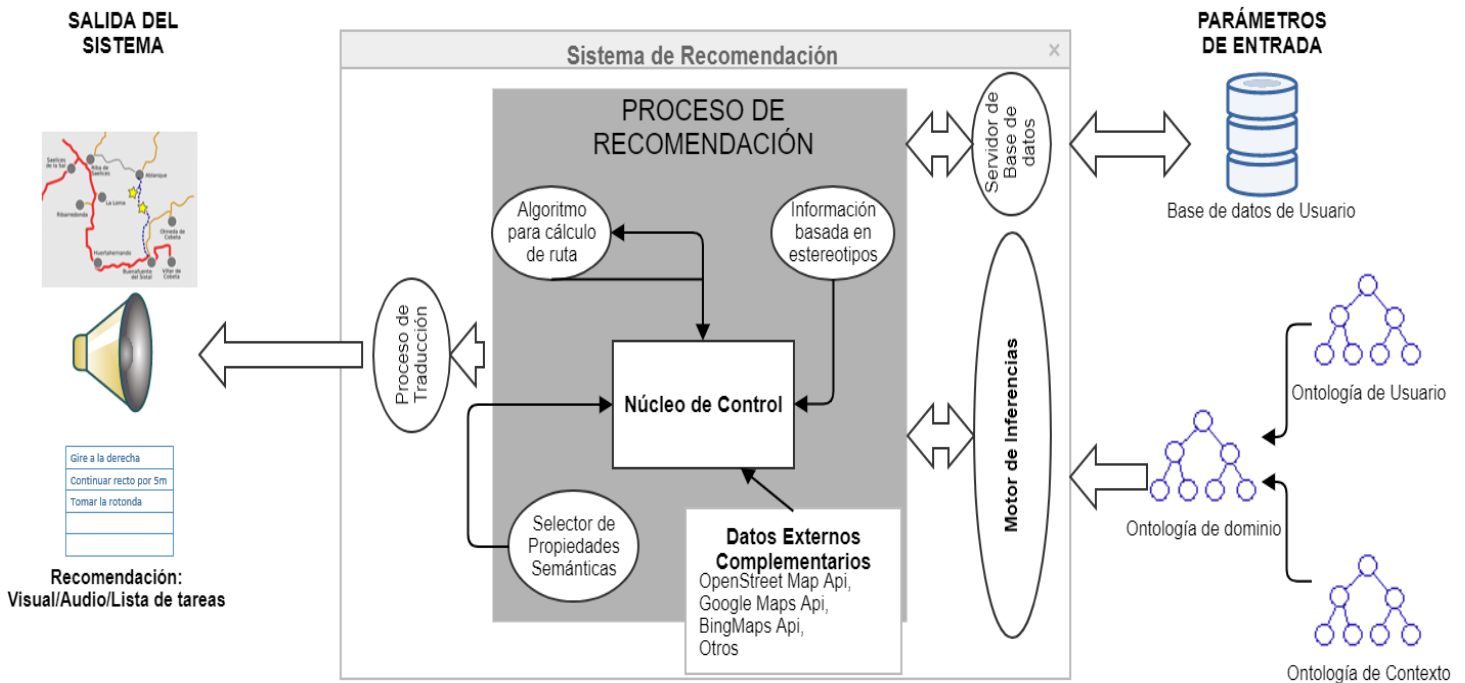


Figura 3-1: Arquitectura del Sistema de Recomendación

El sistema de recomendación se ha diseñado de forma modular, considerando los parámetros de entrada que, por medio de un servidor de base de datos y un motor de inferencia que determinen la información que será enviada al proceso de recomendación, se permita finalmente generar una ruta que permita al usuario obtener un resultado en el formato que sea más idóneo para la discapacidad que este tenga.

### 3.2.1 Parámetros de Entrada

#### 3.2.1.1 Base de datos de Usuario

La base de datos es la encargada de almacenar todos los datos que serán utilizados por la aplicación. Almacena los perfiles de usuarios, información relevante a las características de las rutas, así como también almacenará datos históricos y datos necesarios del sistema de recomendación. Además, almacenará información importante sobre los distintos tipos de discapacidades y las consideraciones que se deben tener en cuenta para cada una de ellas.

3.2.1.2 Ontología de Dominio

La ontología de dominio corresponde a la estructura en la que se basa la ontología de usuario y la ontología de contexto las mismas que se detallan en las siguientes secciones.

3.2.1.2.1 Ontología de Usuario

El propósito de esta ontología es facilitar la recuperación de información de los usuarios tomando en cuenta el perfil al que pertenece. Para ello se modificó la ontología propuesta por De Oliveira [47], ya que si bien se definía una ontología para los usuarios del sistema, esta no consideraba el supuesto que un usuario pudiera tener una discapacidad.

Para la elaboración de esta ontología, primero se partió de la literatura revisada en la sección 2.2.2 y la sección 2.3.1, de las características más representativas de los distintos tipos de discapacidad así como de la Información del usuario que se debe considerar.

Considerando estos parámetros, se estableció la ontología que se visualiza en la Figura 3-2, en la que se muestra la ontología desde el nivel superior así como también las relaciones con las clases principales.

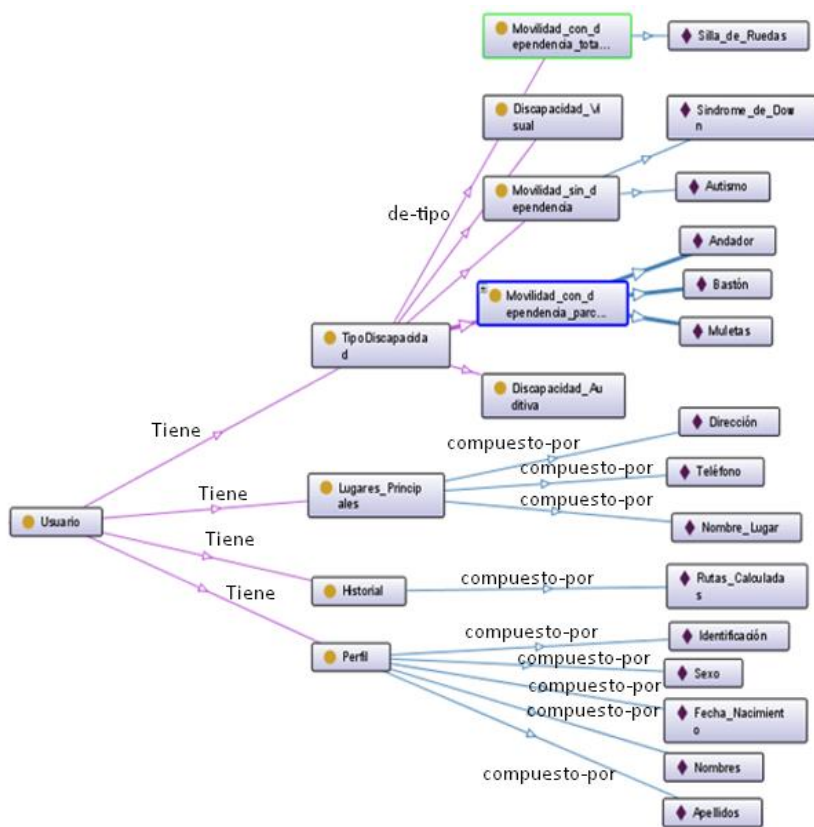


Figura 3-2: Ontología de Usuario

Según lo establecido, un usuario tiene un tipo de discapacidad, un historial, lugares principales y un perfil. En la Tabla 3-1, se describen, en forma de glosario, todos los conceptos y atributos definidos en la ontología.

Concepto	Definición
<b>Usuario</b>	Define al usuario del sistema
<b>TipoDiscapacidad</b>	Define las diferentes tipos de discapacidad
<b>Discapacidad_con_dependencia_total</b>	Engloba todas las discapacidades en las que el usuario se moviliza dependiendo de un elemento adicional como una silla de ruedas.
<b>Discapacidad_con_dependencia_parcial</b>	Engloba las discapacidades en las que el usuario se moviliza ayudado de un elemento adicional como muletas, andador o bastón.
<b>Discapacidad_sin_dependencia</b>	Comprende a todos los usuarios que a pesar de no tener un elemento adicional para moverse padecen de una enfermedad intelectual.
<b>Discapacidad Auditiva</b>	Abarca a las personas con algún tipo de discapacidad Auditiva
<b>Discapacidad Visual</b>	Abarca a las personas con algún tipo de discapacidad visual
<b>LugaresPrincipales</b>	Lugares habituales a los que suele ir el usuario, como su casa, trabajo, etc.
<b>Historial</b>	Rutas que el usuario ha realizado.
<b>Perfil</b>	Información demográfica del usuario

Tabla 3-1: Glosario de Conceptos Ontología de Usuario

El modelo contextual de la Ontología de Usuario se lo visualiza en la Figura 3-3.

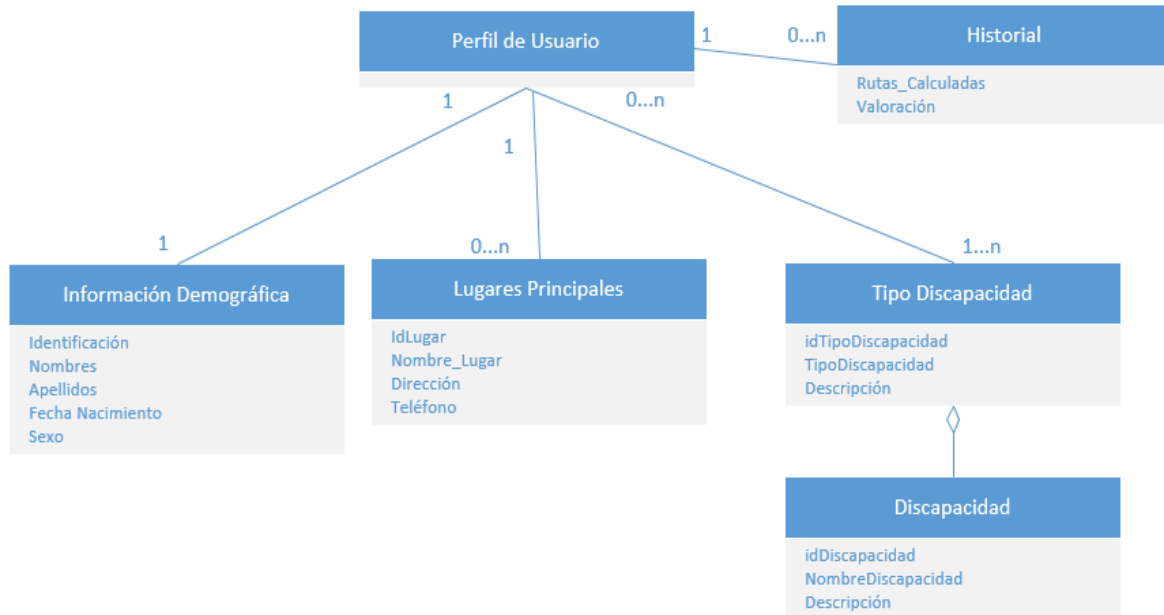


Figura 3-3: Modelo Contextual Ontología Usuario





<b>Infrastructure link</b>	Un enlace entre dos puntos en una red física.
<b>Journey</b>	Un viaje desde un origen a un destino, utilizando un medio de transporte específico.
<b>Journey Pattern</b>	Una lista ordenada de puntos de parada que definen un solo recorrido a través de la red de carreteras o ferrocarril.
<b>Operator</b>	Empresas que ofrecen transporte público
<b>Railway element</b>	Enlace de infraestructura utilizado para describir una red ferroviaria
<b>Railway junction</b>	Un punto de infraestructura utilizado para describir una red ferroviaria
<b>Road element</b>	Enlace de infraestructura utilizado para describir una red de carreteras
<b>Road junction</b>	Un punto de infraestructura utilizado para describir una red carreteras
<b>Stop point</b>	Un punto en el que los pasajeros pueden abordar o descender de vehículos.
<b>Stop point in journey pattern</b>	Un punto de parada en el que el pasajero no cambia de vehículo.
<b>Transport Line</b>	Un grupo de patrones de viaje que es generalmente conocido por las personas por el mismo nombre o número.
<b>Transport Mode</b>	Una caracterización de la operación según los medios de transporte.
<b>Transportation network</b>	Un conjunto de líneas de transporte para garantizar el transporte público.
<b>Vehicle Journey</b>	El recorrido planeado de un vehículo de transporte público en un día laborable desde un punto de inicio hasta el punto final.
<b>Vehicle part</b>	Parte de un viaje creado acorde a propósitos funcionales.
<b>Vehicle type</b>	Clasificación para los vehículos de transporte público, de acuerdo con los requisitos de programación del vehículo en modo y capacidad (ejemplo: metro, bus, tranvía, etc.)
<b>Wire Element</b>	Un tipo de enlace de infraestructura utilizado para describir una red cableada.
<b>Wire Junction</b>	Un tipo de punto de infraestructura utilizado para describir una red cableada.

Tabla 3-2: Glosario de Conceptos Ontología de Contexto [47]

Como se puede observar, la ontología de contexto, no considera los parámetros requeridos por una persona con discapacidad por lo que se procedió a modificar las clases para que se acople a estas necesidades.

### Modificaciones realizadas a la ontología de contexto

Partiendo del modelo contextual definido por De Oliveira [47], se procede a considerar nuevos atributos que permitan considerar los diferentes parámetros que se requieren para facilitar la movilidad de personas con discapacidad. Para esto, además de considerar los parámetros establecidos en la sección 2.2.2, se tomó en cuenta las recomendaciones realizadas por Verswyvel en su texto "Normativa de Accesibilidad" [48]



Lo primero que se modificó es la sección de la ontología que se refiere a los medios de transporte. La primera clase que se modifica es la clase Vehicle Type, en la que se consideran dos nuevos parámetros:

- **Number of Seats for people with disabilities:** Se debe considerar el número de asientos que disponen los vehículos para personas con discapacidad, ya que, principalmente, para las personas con movilidad reducida este es uno de los factores primordiales a considerar.
- **Access Ramp:** Las rampas de acceso en los vehículos son imprescindibles para personas en sillas de ruedas, ya que sin las mismas el uso del transporte se torna muy complicado.
- **Stops Notice Audio:** Considera si el vehículo dispone de un sistema de audio para anunciar las paradas que realiza el vehículo. Este es un parámetro a considerar para las personas con discapacidad visual, ya que de esta manera sabrán en que momento deben bajar del vehículo.
- **Stops Notice Visual:** Considera si el vehículo dispone de pantallas en las que se muestran las paradas que realiza el vehículo. Este es un parámetro a considerar para las personas con discapacidad auditiva, ya que de esta manera sabrán en que momento deben bajar del vehículo.
- **Wheelchair Space:** Verifica que el vehículo disponga de espacio para la ubicación de sillas de ruedas.
- **Wheelchair Seat Belt:** Considera si el vehículo dispone de cinturones de seguridad para sillas de ruedas.

Otra de las clases que se modificó corresponde a Public Transport. En este caso los atributos a considerarse son:

- **Access Guide Dogs:** Las personas con discapacidad visual suelen ir acompañadas de perros guías, por lo que es necesario conocer si el transporte permite el ingreso de los mismos en el vehículo.

Con estas modificaciones, se procedió a establecer el modelo contextual referente a esta parte de la ontología, el mismo que se lo puede visualizar en la Figura 3-5, en la que los elementos añadidos se encuentran en color verde.

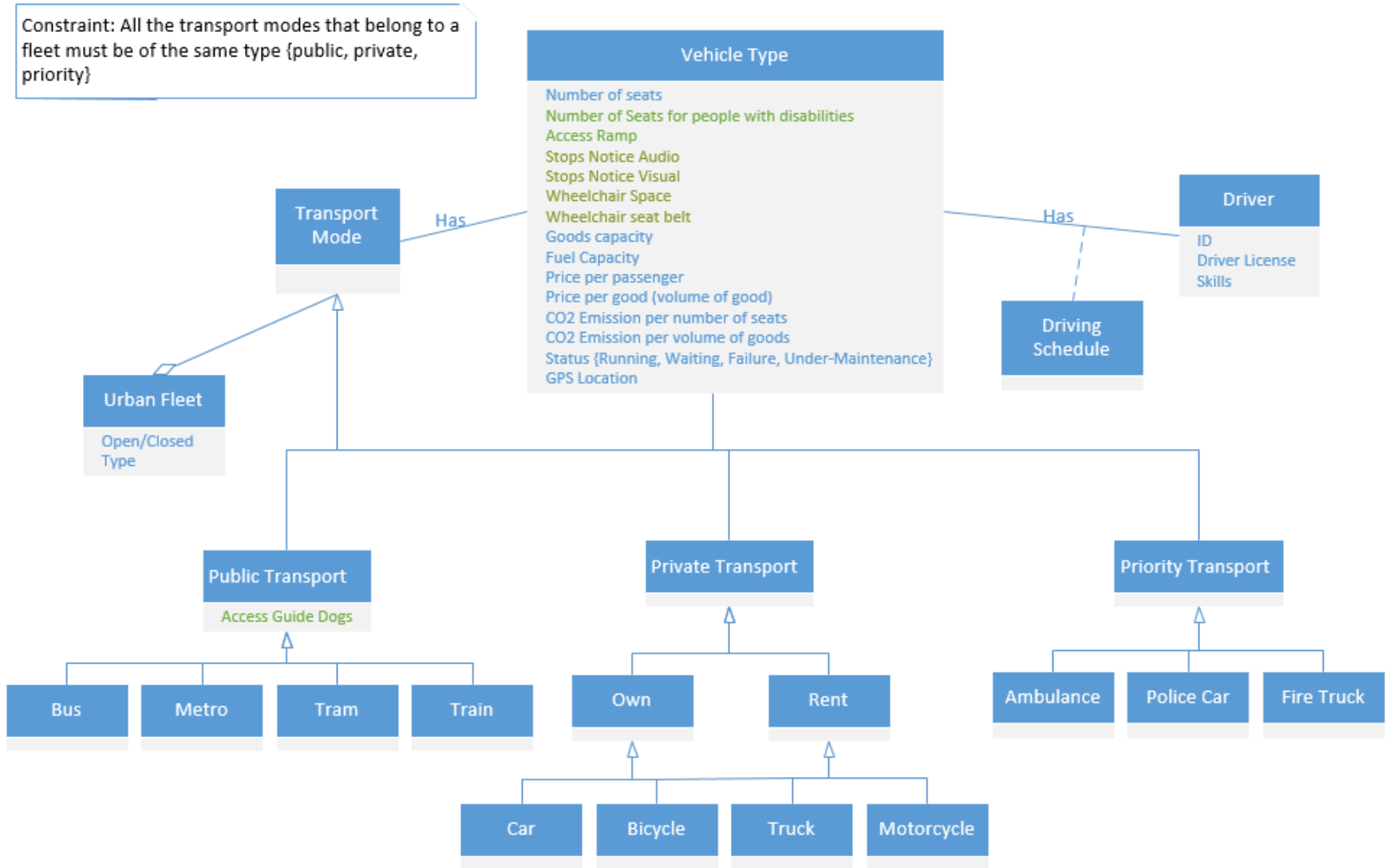


Figura 3-5: Modelo Contextual Medios de Transporte

Por otra parte, se modificó la ontología en lo referente a las características de las aceras y paradas de transporte de transporte público de forma de que se consideren los parámetros para personas con discapacidad.

En este caso se añadieron dos clases: *Street Characteristics* y *Services*, las mismas que permiten que establecer nuevos atributos tanto para las rutas a pie como para las que se realizan en transporte público. A continuación, se describen las mismas.

- **Street Characteristics:** Esta clase considera los elementos para realizar recorrido a pie. Los atributos que la componen son:
  - **Surface:** Se refiere al tipo de superficie del que está hecho un acceso peatonal, es decir, si la superficie es de piedra, asfalto, tierra, etc.
  - **Stairs:** Si existen escaleras en la ruta.
  - **Sidewalk's width:** El ancho de la acera es un parámetro muy importante a considerar especialmente para personas que padecen discapacidad visual, o que tienen movilidad reducida.
  - **Sidewalk's slope:** Considera el ángulo de la pendiente de la acera.
  - **Barriers:** Verifica si existen barreras que puedan obstaculizar o impedir el paso de las personas por esa acera.
  - **Diving Islands:** Hace referencia a considerar si la calle dispone de un islote divisorio de seguridad.
- **Services:** Corresponde a los elementos que se deben considerar en las paradas de transporte público. Los atributos que componen esta clase son:
  - **Seats:** Asientos en las paradas de transporte público, que faciliten la espera de las personas con discapacidad en caso de que deban esperar a que llegue el transporte.
  - **Elevator:** Esto se refiere principalmente a las estaciones de metro o tren, ya que, por lo general, se dispone de varios niveles o accesos para llegar al vehículo.
  - **Access Ramp:** Si la parada de transporte público dispone de rampas de acceso que faciliten alcanzar el vehículo.
  - **Electric Stairs:** Facilita el acceso a las paradas para personas con discapacidad visual o de movilidad reducida en estaciones de metro o tren principalmente.
  - **Advice Information Audio:** Hace referencia a la disposición de avisos de audio sobre la línea de transporte que va a llegar o salir de la parada.
  - **Advice Information Visual:** Hace referencia a la disposición de avisos visuales sobre la línea de transporte que va a llegar o salir de la parada.

Con estos parámetros, se estableció el modelo contextual que se puede observar en la Figura 3-6. Los elementos que han sido agregados al modelo original están en color verde.

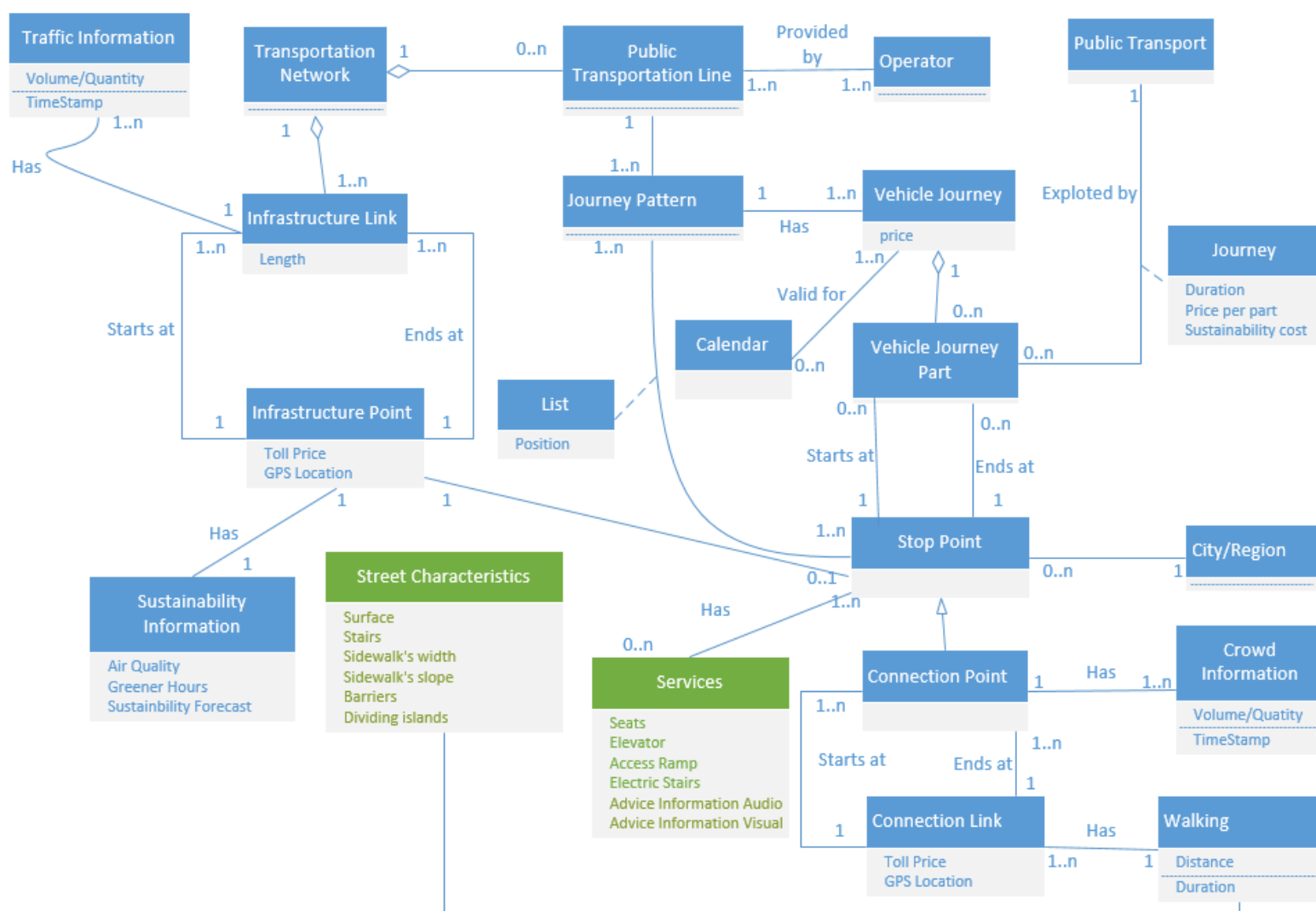


Figura 3-6: Modelo Contextual Aceras y Paradas de Transporte Público

Finalmente, se modificó la sección de la ontología que hace referencia a los cruces de carretera, que son a los que tienen acceso las personas, por lo que se deben considerar algunos parámetros para el cálculo de rutas a pie para las personas con discapacidad.

A la clase Road Junction, se le añadieron los siguientes parámetros:

- **Time Traffic Light:** Tiempo que tarda un semáforo en pasar de rojo a verde en una intersección.
- **Crosswalk:** Si existen pasos peatonales que permitan cruzar una calle o avenida.
- **Access Ramp:** Hace referencia a que las esquinas de las aceras dispongan de rampas que permitan el acceso, particularmente, de personas con movilidad reducida que se movilicen por medio de una silla de ruedas.

Tomando en consideración estos atributos, el modelo contextual referente al cruce de carreteras para peatones se establecería como se puede visualizar en la Figura 3-7.

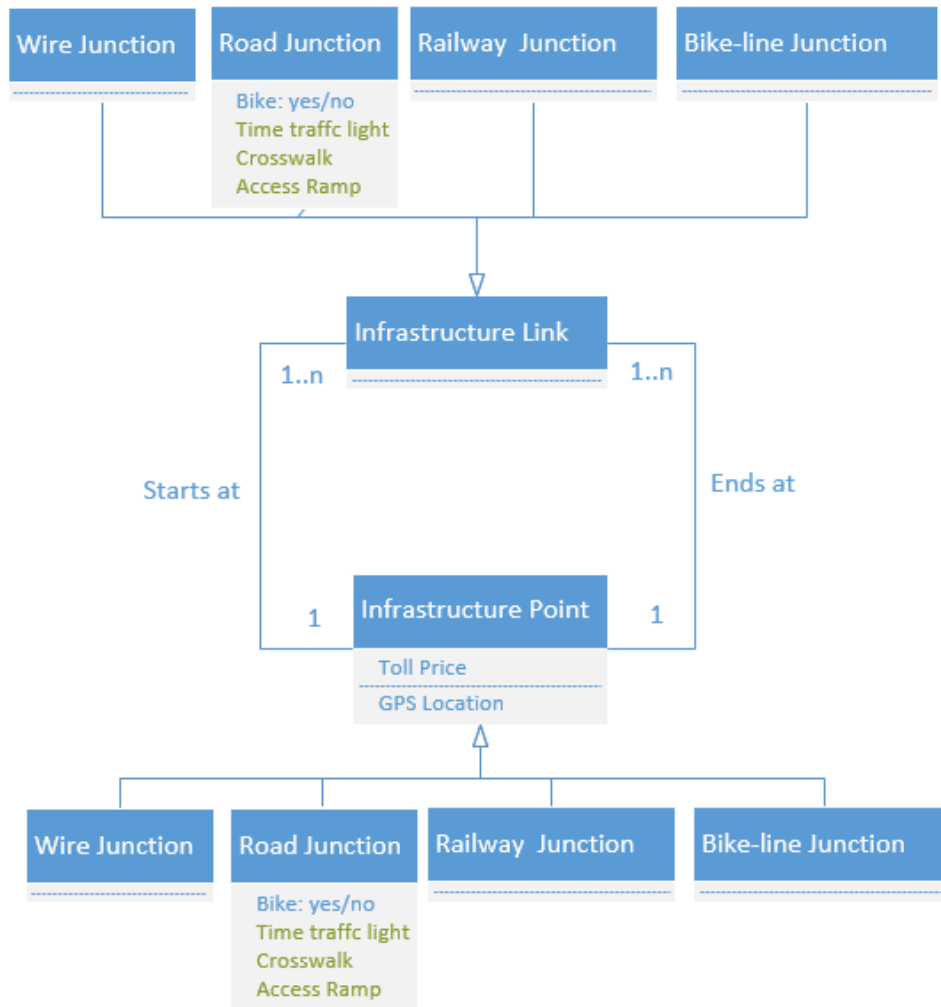


Figura 3-7: Modelo Contextual Cruce de Aceras

### 3.2.2 *Sistema de Recomendación*

En esta sección se describirá el modelo definido para el Sistema de Recomendación, el mismo que consta de tres sub módulos: Pre-proceso de Recomendación, Proceso de Recomendación y Proceso de Traducción. A continuación, se detallan cada uno de ellos.

#### 3.2.2.1 Pre-proceso de Recomendación

En este submódulo, se toma la información de los parámetros de entrada descritos en la sección anterior y se le pasa al Proceso de Recomendación. En esta parte, se considera únicamente los datos del usuario que en ese momento está realizando la consulta.

##### 3.2.2.1.1 Servidor de Base de Datos

Cómo se mencionó anteriormente, uno de los parámetros de entrada es una base de datos que almacena información no semántica relacionada con los usuarios. Para procesar esta información se requiere de un servidor de bases de datos que permita almacenar, recuperar y administrar los datos de la base.

##### 3.2.2.1.2 Motor de Inferencias

El motor de inferencias es el encargado de mapear las ontologías con el modelo contextual correspondiente, ambos establecidos en la sección anterior. Para realizar este proceso, se consideran los conceptos establecidos en el modelo contextual y se los relaciona con los elementos de la ontología. Este concepto se analiza procurando siempre buscar los elementos de la ontología que puedan influir en el concepto del modelo contextual. Una vez que se encuentra un elemento, se le asigna a este un concepto ontológico. De esta manera, la información proporcionada al proceso de recomendación será personalizada, dependiendo del contexto.

Tomando lo establecido por De Oliveira [47] y analizando la ontología de dominio, se pueden identificar tres casos principales de mapeo:

- Mapeo Directo, se refiere a los conceptos que son exactamente la misma información tanto en el elemento ontológico como en el modelo contextual. Por ejemplo, el elemento ciudad de la ontología, representa la misma información proporcionada por la clase LugaresPrincipales, específicamente en el atributo ciudad. Esto nos indica que la información contextual influye directamente en el contenido de la información de la ontología.
- Mapeo Indicativo, se refiere a los atributos de las clases del modelo de contexto, que indican una particularidad del perfil de usuario, sean estos el tipo de discapacidad, preferencias, etc. Estos atributos pueden influir en algún concepto de dominio definiendo la existencia o ausencia de información. Un ejemplo de esto se da cuando un usuario establece el tipo de transporte preferido para el cálculo de ruta, donde en el modelo contextual se tiene la clase RoadTravel que se relaciona con el tipo de transporte que es un concepto de la ontología.
- Mapeo Indirecto, se refiere a algunos conceptos del modelo de contexto que pueden tener una influencia indirecta en los elementos de la ontología, es decir, que pueden tener un impacto indirecto en el contenido del modelo contextual. Un ejemplo de este mapeo, es que la información sobre la edad de un usuario puede

tener influencia en la elección del precio del billete o que la discapacidad que tiene un usuario esta indirectamente asociada al tipo de superficie por la que puede movilizarse si realiza la ruta caminando.

En la Figura 3-8 se puede observar algunos ejemplos de los distintos tipos de mapeo.

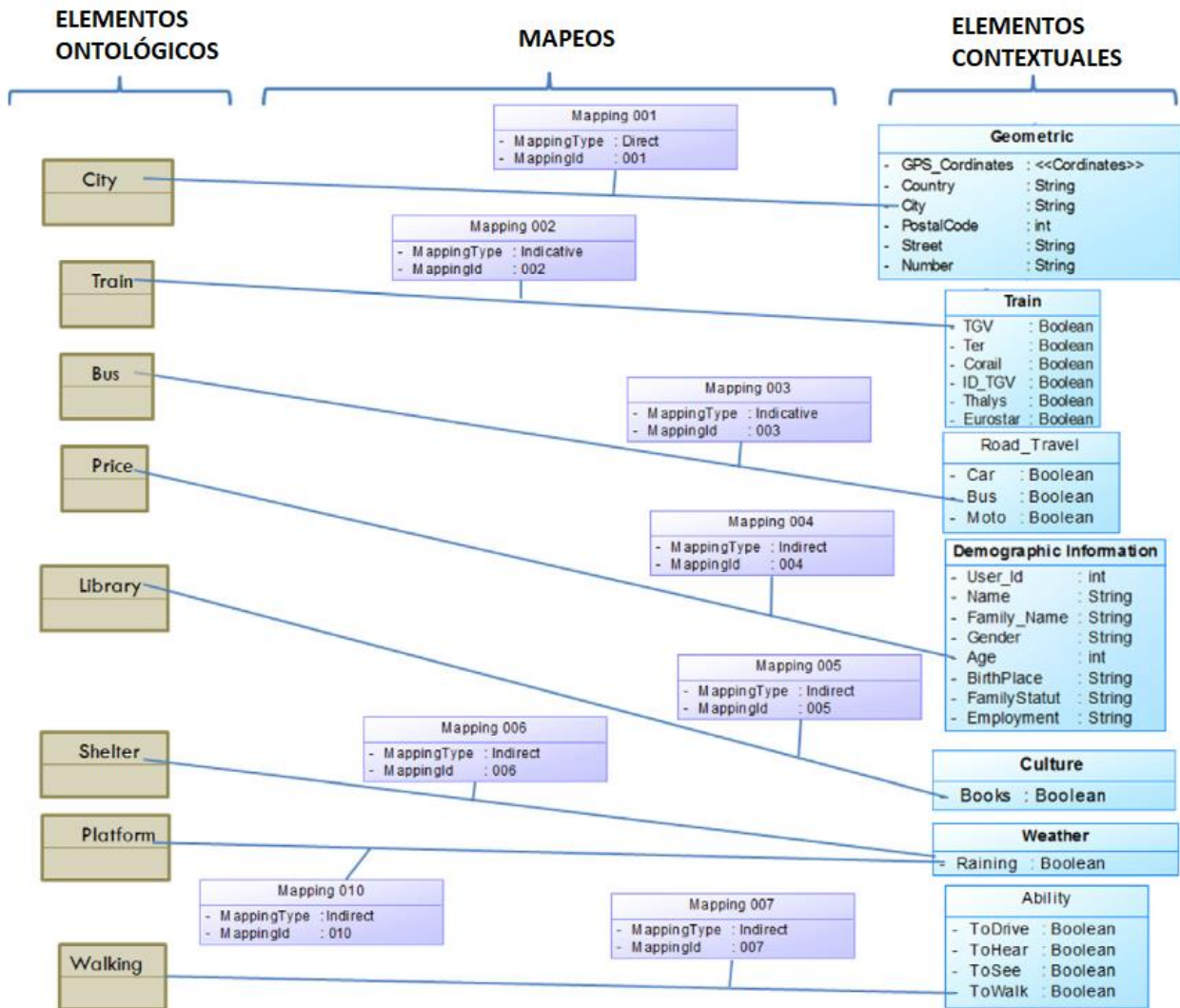


Figura 3-8: Ejemplos de Mapeos principales utilizados para el sistema de recomendación [47]

### 3.2.2.2 Proceso de Recomendación

Es el encargado de tomar los datos del pre-procesamiento y obtener un resultado que posteriormente será presentado al usuario. En esta sección se describen cada uno de los elementos que lo componen.

### 3.2.2.2.1 Información basada en estereotipos

La idea principal de este submódulo es agrupar a los usuarios en categorías o *estereotipos* específicos que los caracterizan por medio de una serie de valores de preferencia definidos por defecto y que representan las necesidades de información y hábitos más comunes del grupo [49].

#### Definición de Estereotipos

Para la inclusión de este módulo en el sistema recomendador, se consideraron diversos estereotipos: un grupo para cada tipo de discapacidad, y estos a su vez se subdividen en subgrupos que consideran los distintos medios de transporte. Este esquema está basado en que personas con un mismo tipo de discapacidad van a tener preferencias relativamente similares para movilizarse de un lugar a otro.

Sin embargo, esto no quiere decir que estas consideraciones no sean modificables, ya que el usuario puede delimitar las preferencias que mejor se ajusten a sus necesidades. Por ejemplo, en la actualidad, al existir diversos tipos de sillas de ruedas, un usuario puede preferir que se considere más el tiempo de viaje que la superficie del camino a tomar.

#### Construcción de los Estereotipos

Para la construcción de los estereotipos, se consideran en primer lugar todos los parámetros que se deben tomar en cuenta para el cálculo de la ruta de una persona con discapacidad establecidos en los modelos contextuales, definidos en la sección 3.2.1.2.2, y con los valores referenciales obtenidos de los estudios realizados por Verswyvel [48] y National Roads Authority [50], se ha construido la Tabla 3-3 en la que un parámetro toma un peso (bajo, medio, alto) de acuerdo al impacto que ocasiona en la persona con un tipo de discapacidad específica.

Por ejemplo, el parámetro *superficie* que hace referencia al tipo de material<sup>13</sup> del camino por el que se tiene que movilizar la persona puede tener diversos valores: Bloques de Hormigón, Pavimento, Asfalto, Piedra, Adoquines, Grava o Césped. Si consideramos que una superficie es de piedra, está tendrá un impacto alto en una persona que se movilice con una silla de ruedas o con andador, pero tendrá un impacto bajo para una persona con discapacidad auditiva.

Los pesos definidos permiten establecer nuevos criterios que se deben considerar al momento de generar la ruta, es decir, no se tomará en cuenta únicamente que la distancia sea la más corta, sino que sea la más óptima. Cabe recalcar que a pesar de que la cantidad de parámetros que se deben considerar para el cálculo de las rutas, todos no son considerados en todos los grupos que se han establecido, por lo que al momento de calcular la ruta se considerarán únicamente los que se ajusten al perfil de usuario para evitar hacer tareas que puedan ralentizar el proceso.

---

<sup>13</sup> Para este parámetro específicamente, existen diversos tipos materiales ya que se pueden considerar, puesto que el camino puede ser una acera, una calle peatonal, un parque, etc. Por esta razón se han considerado las principales (Bloques de Hormigón, Asfalto, Pavimento, Piedra, Adoquines, Grava y Césped) según la Normativa de Accesibilidad [48]



MEDIO DE TRANSPORTE	PARÁMETROS	VALORES		PESOS							
				Autismo	Síndrome Down	Muletas	Andador	Silla de Ruedas	Dis. Auditiva	Dis. Visual	
Caminar	Superficie	Bloques de Hormigón		Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	
		Pavimento		Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	
		Asfalto		Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Bajo	Medio	
		Piedra		Bajo	Bajo	Medio	Alto	Alto	Bajo	Alto	
		Adoquines		Bajo	Bajo	Medio	Alto	Alto	Bajo	Alto	
		Grava		Bajo	Bajo	Alto	Alto	Alto	Bajo	Alto	
		Césped		Bajo	Bajo	Alto	Alto	Alto	Bajo	Medio	
	Escaleras	Sí		Bajo	Bajo	Alto	Alto	Alto	Bajo	Medio	
		No		Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	
	Ancho Acera	> 2 metros		Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	
		< 2 metros		Bajo	Bajo	Medio	Alto	Alto	Bajo	Medio	
	Pendiente camino	> 1,20 metros		Bajo	Bajo	Medio	Alto	Alto	Bajo	Medio	
		< 1,20 metros		Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	
	Barreras	En las esquinas		Medio	Medio	Alto	Alto	Alto	Bajo	Alto	
		En los laterales		Bajo	Bajo	Medio	Alto	Alto	Bajo	Medio	
		En la mitad		Bajo	Bajo	Medio	Alto	Alto	Bajo	Medio	
		Sin Barreras		Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	
	Islas de Seguridad	Vías 3 carriles o menos	Sí		Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
			No		Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Medio	Alto
		Vías con más de 3 carriles	Sí		Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
			No		Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Medio	Alto
	Pasos Peatonales	Con Ascensor		Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	
		Con Escalera Normal		Bajo	Bajo	Medio	Alto	Alto	Bajo	Alto	
		Con Escalera Eléctrica		Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Bajo	
		Sí		Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	

	Rampas de Acceso	No		Bajo	Bajo	Medio	Alto	Alto	Bajo	Alto	
	Tiempo de duración Semáforo	Vías 3 carriles o menos	< 30 seg.	Medio	Medio	Alto	Alto	Alto	Medio	Alto	
> 30 y 45 seg.			Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	
> 45 seg.			Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	
Vías con más de 3 carriles		< 45 seg.	Medio	Medio	Alto	Alto	Alto	Medio	Alto		
		> 45 y 60 seg.	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio		
		> 60 seg.	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo		
<b>Transporte Público</b>	Paradas Metro y Tren	Asientos de espera	Si	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	
			No	Bajo	Bajo	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Medio	
	Ascensores	Si	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	
		No	Bajo	Bajo	Medio	Alto	Alto	Bajo	Alto		
	Rampas de Acceso	Si	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	
		No	Bajo	Bajo	Medio	Alto	Alto	Bajo	Medio		
	Escaleras Eléctricas	Si	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	
		No	Bajo	Bajo	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Medio		
	Avisos Informativos Audio	Si	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	
		No	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	
	Avisos Informativos Visual	Si	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	
		No	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Bajo		
	Paradas Tranvía y Bus	Asientos de espera	Si	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
			No	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	
		Rampas de Acceso	Si	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	
			No	Bajo	Bajo	Medio	Alto	Alto	Bajo	Medio	
		Avisos Informativos Audio	Si	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
			No	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Alto
Avisos Informativos Visual		Si	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	
		No	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Bajo		

	Vehículo	Asientos para personas con discapacidad	Si	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
			No	Bajo	Bajo	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Alto
		Rampas de Acceso	Si	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
			No	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Alto	Bajo	Bajo
		Aviso de Parada Audio	Si	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
			No	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Alto
		Aviso de Parada Visual	Si	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
			No	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Bajo
		Espacio Silla Ruedas	Si	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
			No	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Alto	Bajo	Bajo
		Cinturón de Seguridad Silla de Ruedas	Si	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
			No	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Alto	Bajo	Bajo

Tabla 3-3: Construcción de Estereotipos para cada tipo de discapacidad

### 3.2.2.2 Algoritmo para cálculo de ruta

Define el algoritmo que se utilizará para encontrar el camino entre dos puntos. Tal y como se analizó en la sección 2.5.3, existen diversos estudios que han utilizado distintos algoritmos para el cálculo de rutas, pero tomando en cuenta los resultados obtenidos en el mapeo sistemático realizado en el capítulo 2, en esta sección se describirá el funcionamiento de los algoritmos Dijkstra y A\*.

#### Algoritmo Dijkstra [51] [52]

El algoritmo Dijkstra, es uno de los algoritmos de camino mínimo, desarrollado por Edsger Dijkstra en 1959, es un algoritmo eficiente para la determinación del camino más corto dado un nodo inicial al resto de nodos en un grafo con pesos en cada arista.

Dijkstra está basado en el principio de optimalidad de Bellman<sup>14</sup> de manera constructiva formando un camino mínimo a partir de otro ya existente. El algoritmo devuelve en realidad el peso mínimo en lugar del camino mínimo propiamente dicho, pero este último puede ser obtenido fácilmente recorriendo en sentido inverso la construcción.

El algoritmo parte del siguiente conjunto de elementos iniciales: “Sea un grafo o dígrafo pesado, con  $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$  su conjunto de vértices y  $\Omega = (\omega_{ij})_{n \times n}$  su matriz de pesos, y sea  $v_p$  el vértice inicial”. De esta manera Dijkstra construye, en cada paso, un mínimo desde  $v_p$  a otro vértice y se detiene cuando ha construido uno para cada vértice. Así se utiliza una lista o conjunto de elementos:

- L, que contiene los vértices para los que ya se ha construido un camino mínimo y un vector de pesos
- D, es el vector de resultante con los pesos mínimos.

Inicialmente se tiene que  $L = \{v_p\}$  y  $D = \Omega(p, :)$ , donde la p corresponde fila del vértice inicial en la matriz de pesos .

#### Funcionamiento

1. Se marcan todos los vértices como no utilizados. El algoritmo parte del origen y a partir de éste se evaluarán todos los vértices adyacentes utilizando la técnica greedy<sup>15</sup>.
2. Entre todos los vértices adyacente se busca el que esté más cerca del punto de origen y se lo toma como punto intermedio para verificar si se puede llegar más rápido a través de este vértice a los demás.
3. Luego se repite el proceso partiendo de este vértice seleccionado.
4. El proceso se repite hasta que el vértice no utilizado más cercano sea el destino.

---

<sup>14</sup> “Principio aplicado en programación dinámica que consiste en que una secuencia óptima de decisiones que resuelve un problema debe cumplir la propiedad de que cualquier subsecuencia de decisiones, que tenga el mismo estado final, debe ser también óptima respecto al subproblema correspondiente.” [59]

<sup>15</sup> La técnica greedy utiliza el principio de que para que un camino sea óptimo, todos los caminos que contiene también deben ser óptimos.

### **Complejidad**

El algoritmo realiza  $O(n^2)$  operaciones (sumas y comparaciones) para determinar la longitud del camino más corto entre dos vértices de un grafo simple, conexo y no dirigido.

### **Algoritmo A\* [53] [54]**

El algoritmo A\* es un algoritmo utilizado para técnicas de búsqueda que puede ser aplicado cuando el punto de salida es conocido, su funcionamiento tiende a realizar movimientos en diagonal, horizontal y vertical asignando un costo a los movimientos. Utiliza búsqueda heurística para encontrar la ruta óptima entre dos puntos.

Utiliza tres funciones:

- La función G que es el costo del mejor camino desde el vértice inicial al vértice n obtenido hasta el momento durante la búsqueda.
- La función H que es el costo del camino más corto desde el vértice n al vértice objetivo más cercano n.
- $F = G + H$ , que es el costo del camino más corto desde el vértice de origen al vértice destino.

### **Funcionamiento**

1. Se parte del vértice inicial y se lo agrega a una lista abierta de caminos a considerar.
2. Verificar los caminos transitables adyacentes, ignorando los no accesibles, y se los añade a una lista abierta en el que el vértice origen es el padre de cada uno de ellos.
3. Se guarda el origen en una lista cerrada
4. Se asignan pesos a los movimientos vertical, horizontal y diagonal.
5. Se determina cuál es el camino adyacente (C) con puntuación más baja F.
6. Se eliminan de la C de la lista abierta y se lo agrega a la lista cerrada, haciéndolo padre.
7. Se repite desde el paso 2, hasta llegar al destino, donde el resultado se encuentra en la lista cerrada.

### **Complejidad**

El espacio requerido por este algoritmo para ser ejecutado, se considera uno de sus principales problemas ya que tiene que almacenar todos los posibles vértices adyacentes a cada estado, por lo que la cantidad de memoria que requiere es exponencial con respecto al tamaño del problema.

#### **3.2.2.2.3 Selector de Propiedades Semánticas**

Este submódulo tiene como objetivo considerar los intereses del usuario para modificar los estereotipos indicados anteriormente, es decir, que el usuario tiene la capacidad de establecer cuáles son sus preferencias para el cálculo de la ruta.

De esta manera, el recomendador priorizará lo establecido en este submódulo en lugar de la información basada en estereotipos.

#### 3.2.2.2.4 Datos Externos Complementarios

Este submódulo se incorpora con el fin de que el sistema de recomendación se enriquezca mediante información externa procedentes de diversas APIs<sup>16</sup> que se encuentran disponibles y de esta manera se generen resultados que proporcionen mayor información al usuario. Por ejemplo, se pueden mostrar diversos puntos de interés como restaurantes, museos, parques, etc. que se encuentran por la ruta trazada.

#### 3.2.2.2.5 Núcleo de Control

El núcleo de Control se convierte en la parte más importante del sistema de recomendación ya que constituye su bloque central en el que se agrupan las clases y funciones principales para vincular el perfil de usuario con las rutas generadas para obtener la recomendación final.

El núcleo de control toma todas las características de los submódulos descritos anteriormente y sigue la siguiente secuencia de pasos:

1. Toma las preferencias del usuario y modifica los pesos de los parámetros correspondientes considerando el perfil de usuario y el tipo de discapacidad que este tenga.
2. Toma el punto de inicio y final de la ruta y asigna valores referenciales a todos los posibles caminos en base a los pesos previamente establecidos.
3. Ejecuta el algoritmo para el cálculo de ruta considerando únicamente los caminos que son viables para el usuario.
4. Recibe la ruta y se la envía al proceso de traducción.

#### 3.2.2.3 Proceso de Traducción

El objetivo de este proceso, es tomar el resultado que envía el núcleo de control y transformarlo en una lista ordenada de instrucciones que al ser enviada al módulo de Visualización de información (Sección 3.2.3) pueda ser presentada al usuario.

Este proceso es dependiente de las herramientas de software utilizadas para el desarrollo del Sistema de Recomendación y del formato en el que el núcleo de control envíe la información.

#### 3.2.3 *Visualización de la Información*

El objetivo de este módulo es tomar la lista de instrucciones que compone la ruta generada en el Proceso de Traducción y presentarla al usuario final

La recomendación final se debe presentar al usuario en diferentes formatos multimedia acorde al tipo de discapacidad que tengan. De esta manera, los formatos en los que se muestra la recomendación del sistema deben ser:

- **Audio:** Las instrucciones deben ser dadas por medio de audio para personas que tengan discapacidad visual o con movilidad reducida, las instrucciones serán cortas y específicas de manera que el usuario pueda ejecutarla fácilmente. Además, debe

---

<sup>16</sup> Application Programming Interface

tener de la opción que permita repetir la última orden en caso de que el usuario así lo requiera.

- **Lista Ordenada detallada:** Se debe mostrar una lista ordenada de las instrucciones con puntos de referencia, que permitan a las personas con discapacidad intelectual ejecutarlas fácilmente.
- **Visual:** Es la forma más común de mostrar las rutas para ir de un sitio a otro. Corresponde a mostrar la ruta en un mapa de forma visual de forma que el usuario pueda ir siguiendo el mapa y ejecutando así las instrucciones.

De esta manera, el formato de salida considerando los diferentes tipos de discapacidad se detallan en la Tabla 3-4.

Discapacidad	Formato de salida	
<b>Movilidad sin dependencia</b>	Autismo	Lista Detallada, Visual
	Síndrome de Down	Lista Detallada, Visual, Audio
<b>Movilidad con dependencia Parcial</b>	Bastón	Audio, Visual
	Andador	Audio
	Muletas	Audio
<b>Movilidad con dependencia Total</b>	Silla de Ruedas	Audio, Visual
<b>Discapacidad Auditiva</b>	Visual	
<b>Discapacidad Visual</b>	Audio	

Tabla 3-4: Formato de Salida para cada Tipo de Discapacidad

## 4 Evaluación del modelo

En esta sección se describen los diferentes experimentos que se han realizado para validar el sistema de recomendación descrito en la sección 3. Considerando que el aporte principal de este trabajo es la implementación de un recomendador inteligente que permita calcular rutas a pie o en transporte público para personas con discapacidad, se ha procedido a evaluar esta parte del modelo.

Lo que se ha realizado es la implementación del módulo de recomendación en Java, en el que se consideran los perfiles de usuario de cada una de los tipos de discapacidades definidas en la sección 3, y se ha generado un ambiente de pruebas que consta de 50 nodos generados de manera aleatoria, el mismo que se puede observar la Figura 4-1. Se desarrolló este módulo desarrollando el algoritmo Dijkstra para el cálculo de ruta. Para el pre-proceso se establecieron pesos a cada uno de los enlaces en base a las características de los mismos.

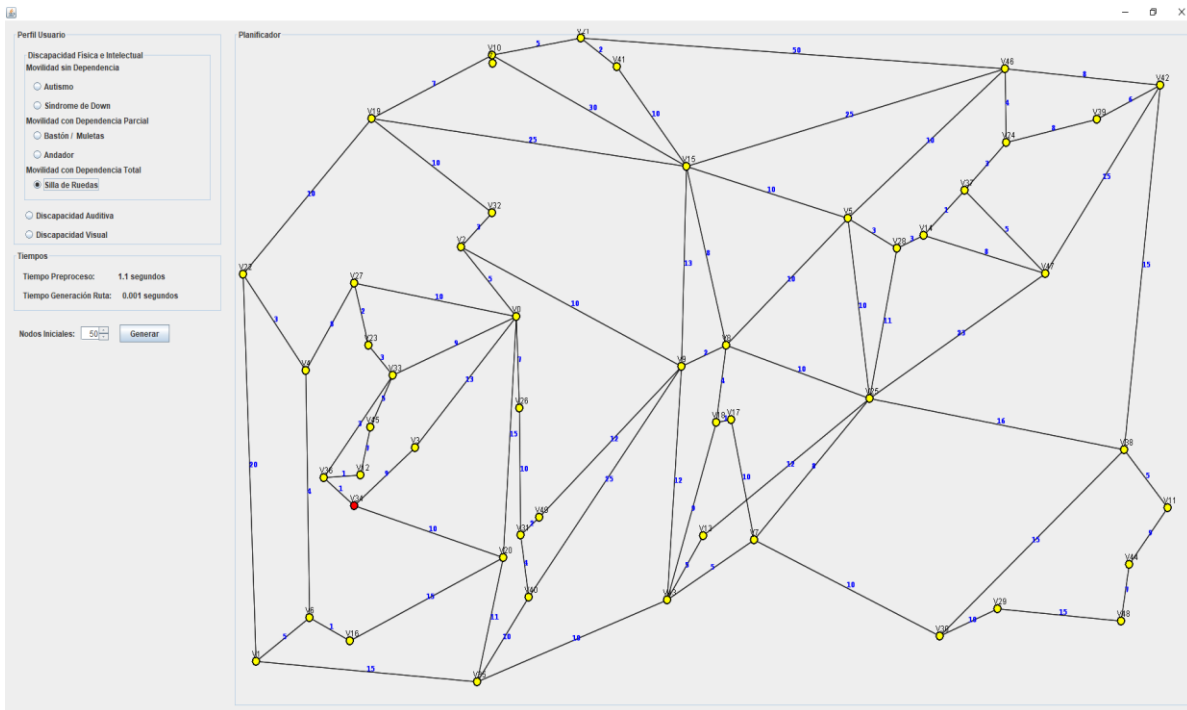


Figura 4-1: Estructura creado para pruebas

Cada nodo tiene diferentes enlaces, que han sido creado de forma aleatoria, asignando los diferentes parámetros que se establecieron en la Tabla 3-3. Se procedió a ejecutar el recomendador 10 veces, en cada ejecución se fue modificando el tipo de discapacidad y obteniendo diferentes rutas para cada una de ellas tomando en cuenta que el nodo de inicio y el nodo final eran igual para todos los perfiles de usuario. De acuerdo al tipo de discapacidad, en cada nodo se tomó en consideración el tiempo que el recomendador tardaba en realizar el pre-proceso y así como también el tiempo que se tardaba en realizar el cálculo de la ruta una vez que ya se tenían todos los parámetros necesarios.



En la Figura 4-2, Figura 4-3, Figura 4-4, Figura 4-5, Figura 4-6, Figura 4-7 y Figura 4-8 se puede observar las distintas rutas generadas para cada uno de los distintos tipos de discapacidad en la ejecución 5.

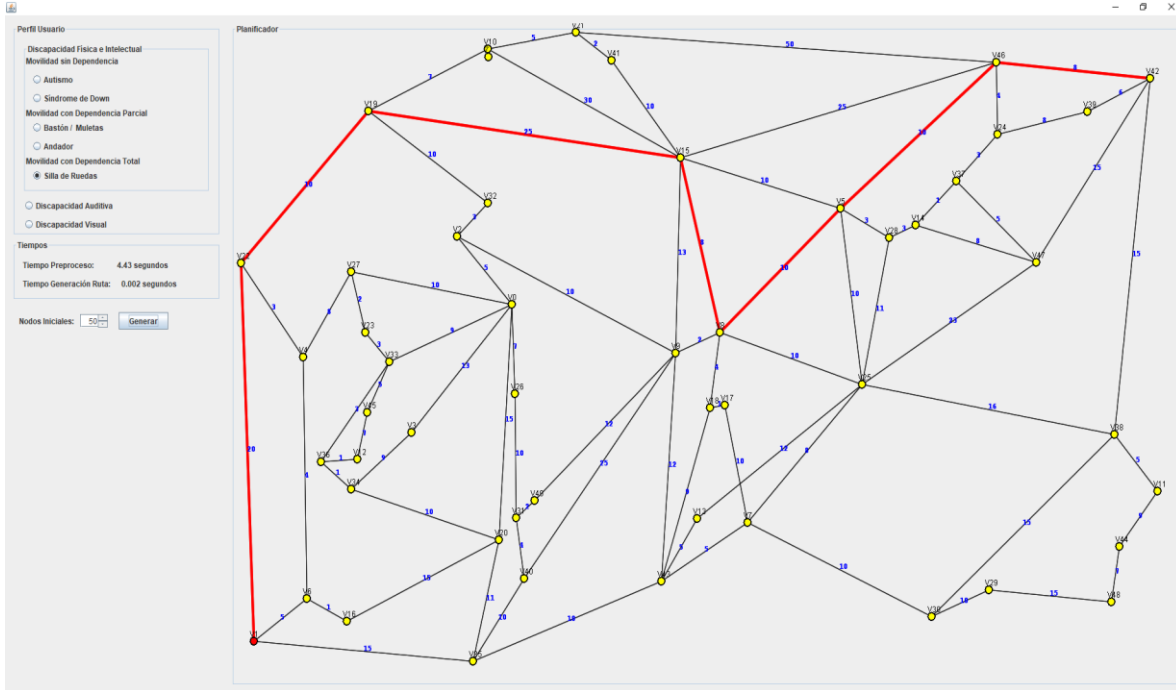


Figura 4-2: Ruta Generada para Silla de Ruedas

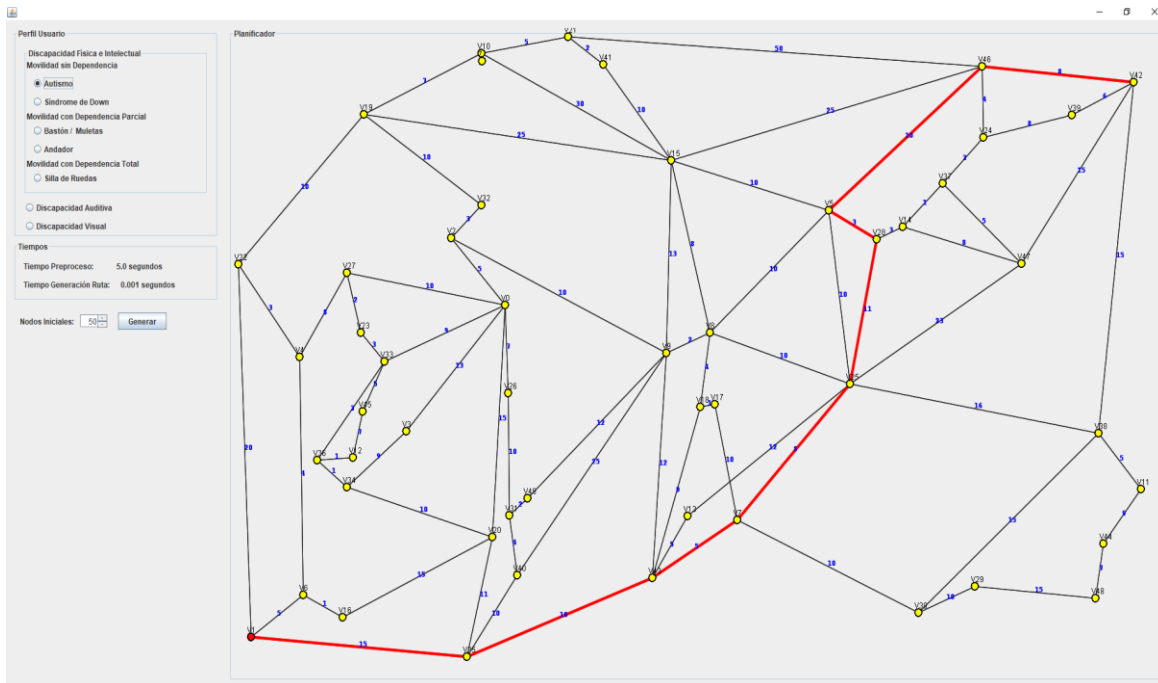


Figura 4-3: Ruta Generada para Autismo

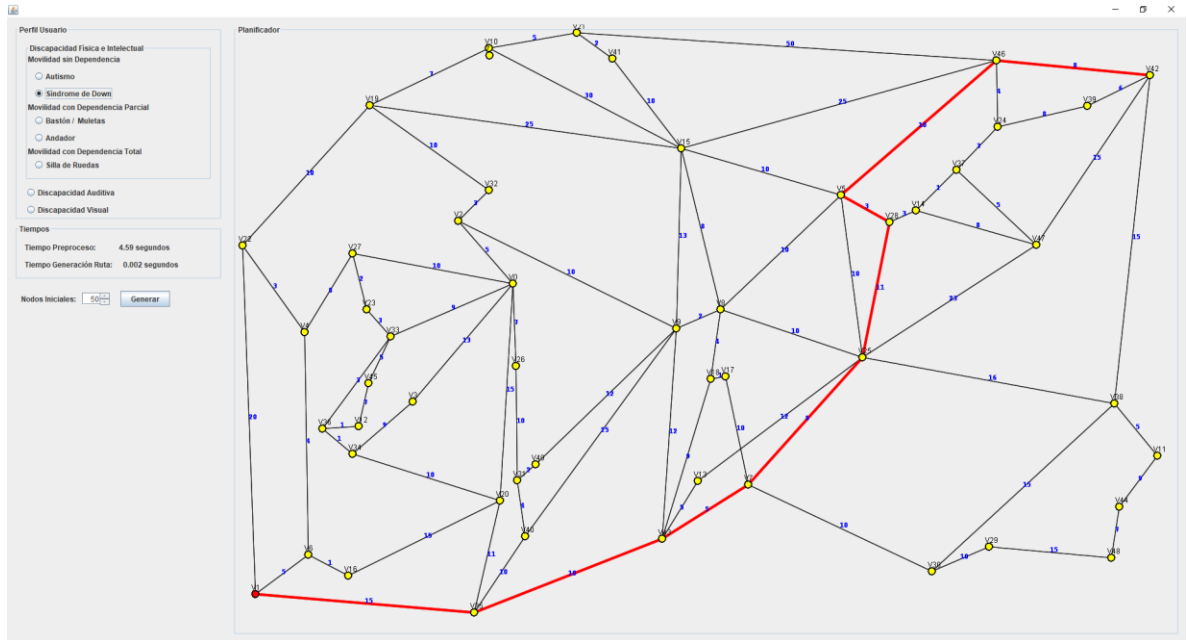


Figura 4-4: Ruta Generada para Síndrome de Down

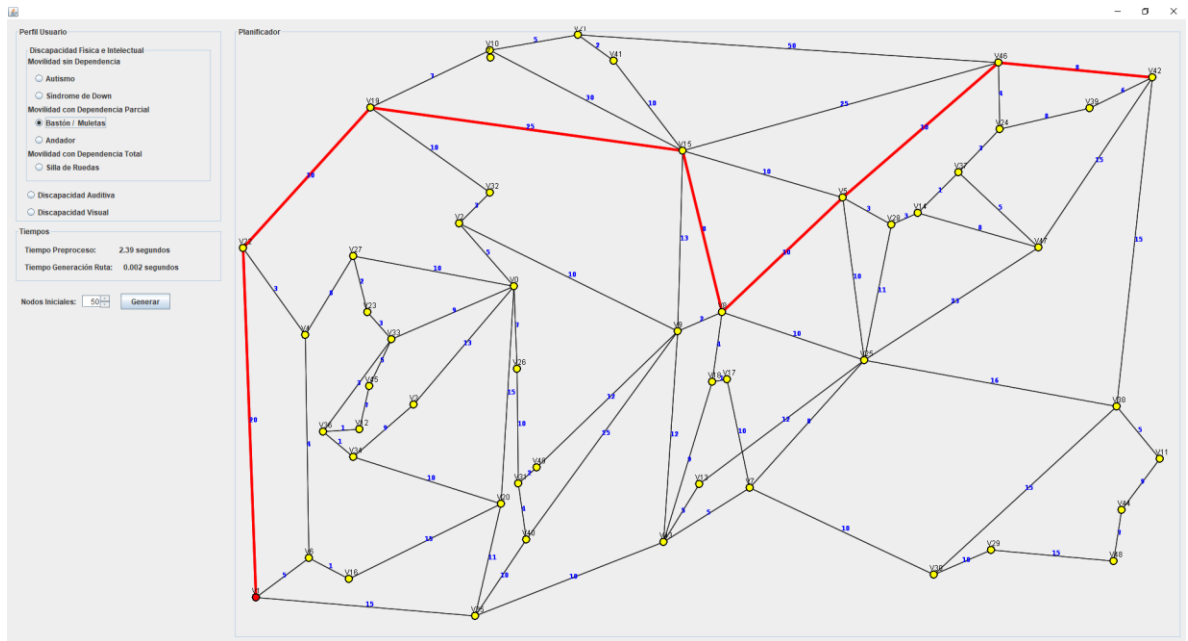


Figura 4-5: Ruta Generada para Bastón/Andador

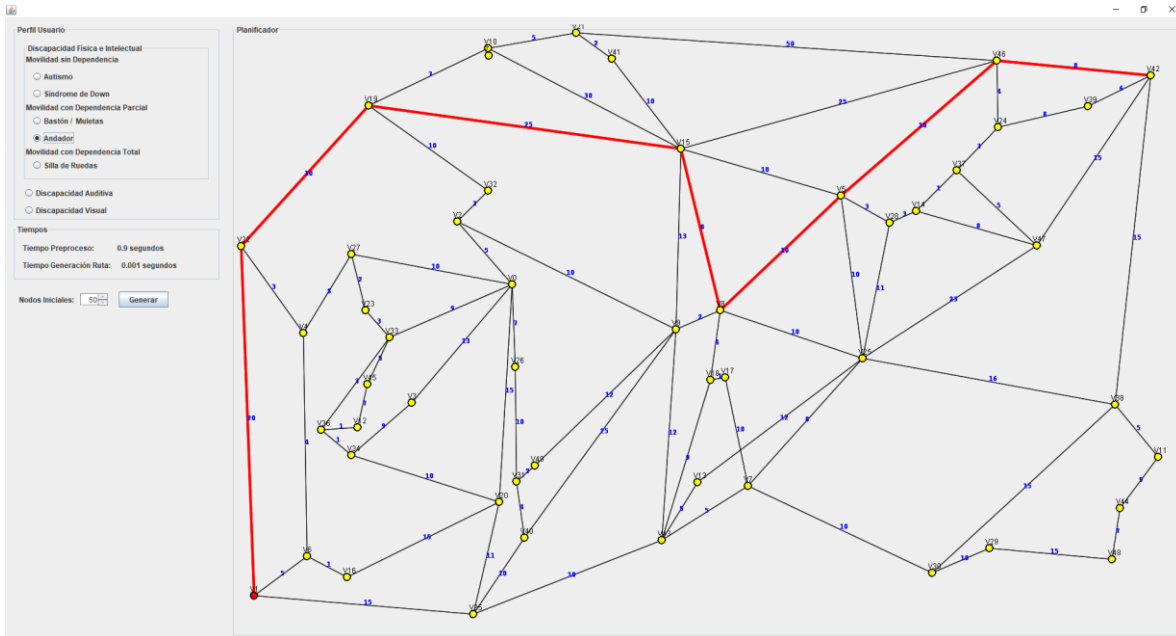


Figura 4-6: Ruta Generada para Andador

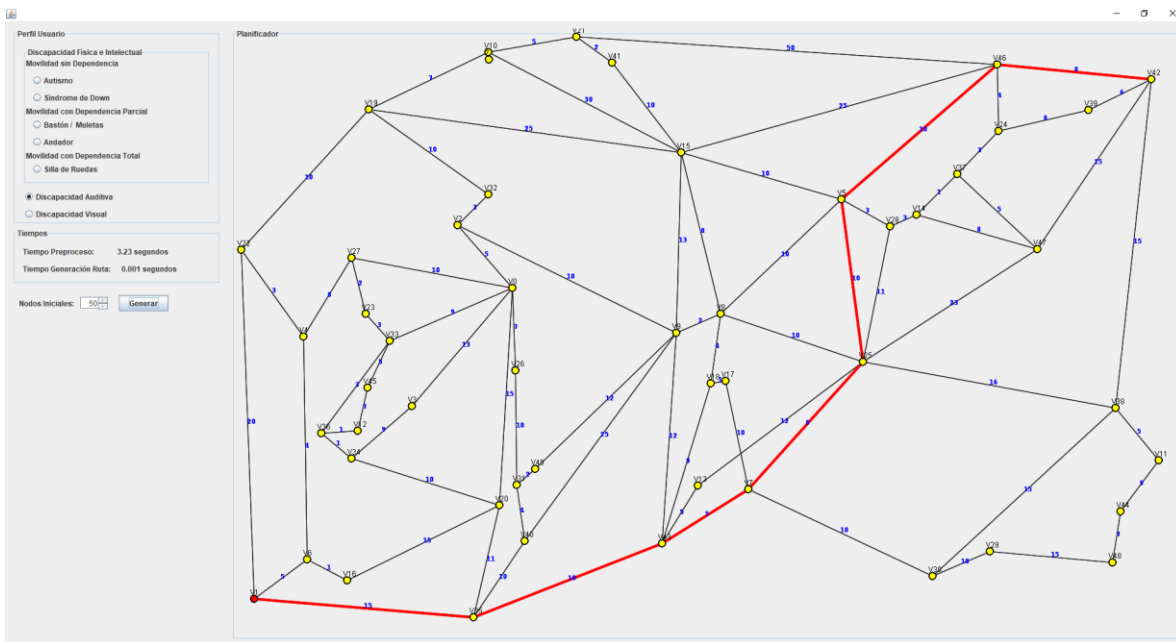


Figura 4-7: Ruta Generada para Discapacidad Auditiva

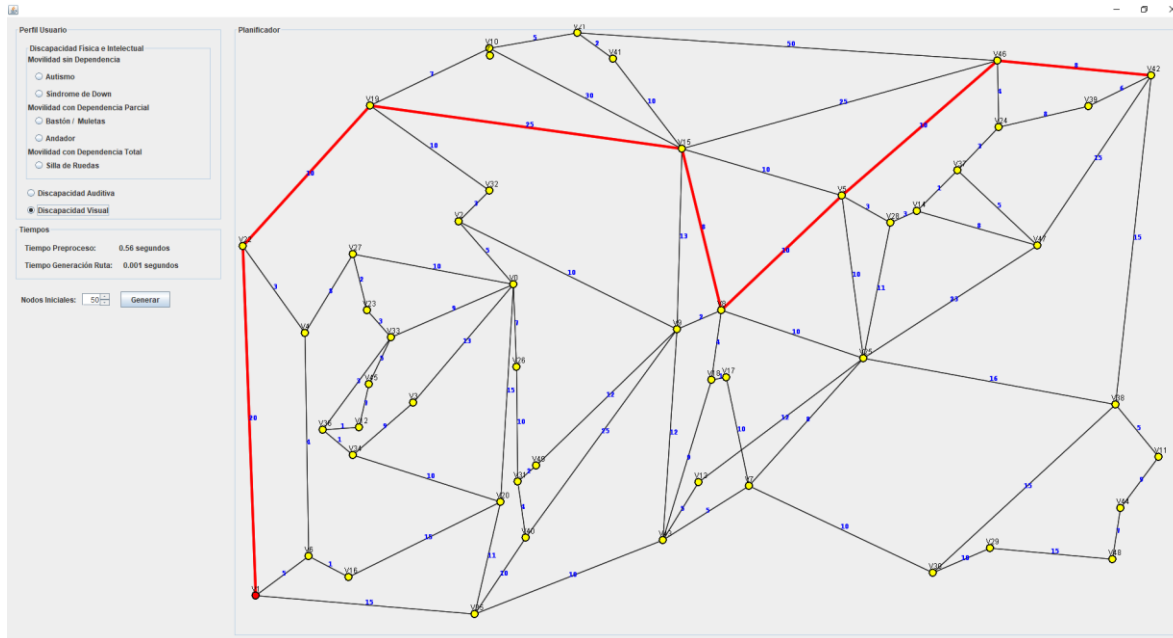


Figura 4-8: Ruta Generada para Discapacidad Visual

Como se puede observar, de acuerdo al tipo de discapacidad, el recomendador genera rutas diferentes, considerando no sólo la distancia que existe entre los nodos sino también los estereotipos definidos anteriormente.

Para evaluar el rendimiento del sistema, se consideraron los tiempos que se muestran en la Tabla 4-1, que consta de los siguientes elementos:

- **Discapacidad:** Tipo de Discapacidad
- **Ejecución:** Número de ejecución del sistema de recomendación. En cada tipo de discapacidad, la fila que corresponde a la misma ejecución, el nodo inicial y final son los mismos.
- **Tiempo de Preproceso:** Tiempo (segundos) que tarda el recomendador en asignar pesos a cada uno de los enlaces basándose en los estereotipos previamente establecidos. Esta parte corresponde a la Información basada en estereotipos que se detallada en el capítulo anterior.
- **Tiempo de Generación de Ruta:** Tiempo (segundos) que tarda el recomendador en calcular la ruta una vez que ha obtenido los pesos generados en el preproceso. Esto corresponde al núcleo de control del sistema de recomendador descrito anteriormente.

Discapacidad	Ejecución	Tiempo Preproceso	Tiempo Generación Ruta	Discapacidad	Ejecución	Tiempo Preproceso	Tiempo Generación Ruta
Silla de Ruedas	1	4,43	0,002	Síndrome Down	1	4,59	0,002
	2	2,01	0,008		2	5,05	0,008
	3	3,01	0,001		3	3,01	0,009
	4	2,03	0,004		4	5,04	0,004
	5	2,02	0,009		5	3,02	0,006
	6	5,01	0,009		6	2,01	0,001
	7	3,03	0,004		7	2,02	0,000
	8	2,04	0,004		8	5,01	0,001
	9	4,05	0,004		9	3,04	0,008
	10	5,15	0,002		10	3,04	0,003
Autismo	1	5,00	0,001	Bastón / Muletas	1	2,39	0,002
	2	4,05	0,006		2	5,04	0,006
	3	5,02	0,002		3	5,02	0,007
	4	2,04	0,006		4	3,05	0,003
	5	2,03	0,008		5	2,03	0,006
	6	5,05	0,002		6	2,04	0,006
	7	4,02	0,009		7	5,04	0,005
	8	2,02	0,004		8	5,03	0,002
	9	2,03	0,009		9	2,04	0,002
	10	2,59	0,002		10	3,05	0,000
Andador	1	3,23	0,001	Dis. Visual	1	0,56	0,001
	2	5,03	0,007		2	2,02	0,008
	3	3,03	0,001		3	2,01	0,007
	4	5,02	0,005		4	4,03	0,006
	5	2,03	0,006		5	3,01	0,007
	6	3,02	0,001		6	5,05	0,002
	7	5,01	0,002		7	2,03	0,005
	8	2,02	0,002		8	4,04	0,001
	9	3,04	0,007		9	5,02	0,002
	10	4,01	0,003		10	4,57	0,001
Dis. Auditiva	1	0,09	0,001				
	2	3,02	0,007				
	3	4,01	0,002				
	4	5,03	0,007				
	5	3,01	0,008				
	6	5,04	0,009				
	7	3,04	0,010				
	8	3,04	0,001				
	9	5,01	0,008				
	10	3,05	0,003				

Tabla 4-1: Tiempos de Ejecución

Desde un punto de vista más global, la Tabla 2-1, los tiempos utilizados para la construcción de los estereotipos es mayor en cuando el tipo de discapacidad tiene varios parámetros a considerar. El mayor tiempo que se tardó el recomendador en realizar el pre-proceso fue de 5.15 segundos, en la ejecución 10 para una persona con silla de ruedas, mientras que se tardó el menor tiempo 0.09 segundos para una persona con discapacidad Auditiva.

En lo referente al tiempo de cálculo de ruta, se pudo observar que mientras más enlaces se tiene que recorrer para llegar al destino el tiempo de ejecución es mayor, aunque cabe recalcar que en ninguna de las ejecuciones el tiempo superó a 1 segundo, por lo que podemos darnos cuenta que si los pesos se calculan de forma correcta esto no va a interferir en el desenvolvimiento del algoritmo de cálculo de ruta.

Una comparativa de los tiempos en la ejecución 10, en donde se puede observar lo que se ha mencionado se encuentra en la Figura 4-9.

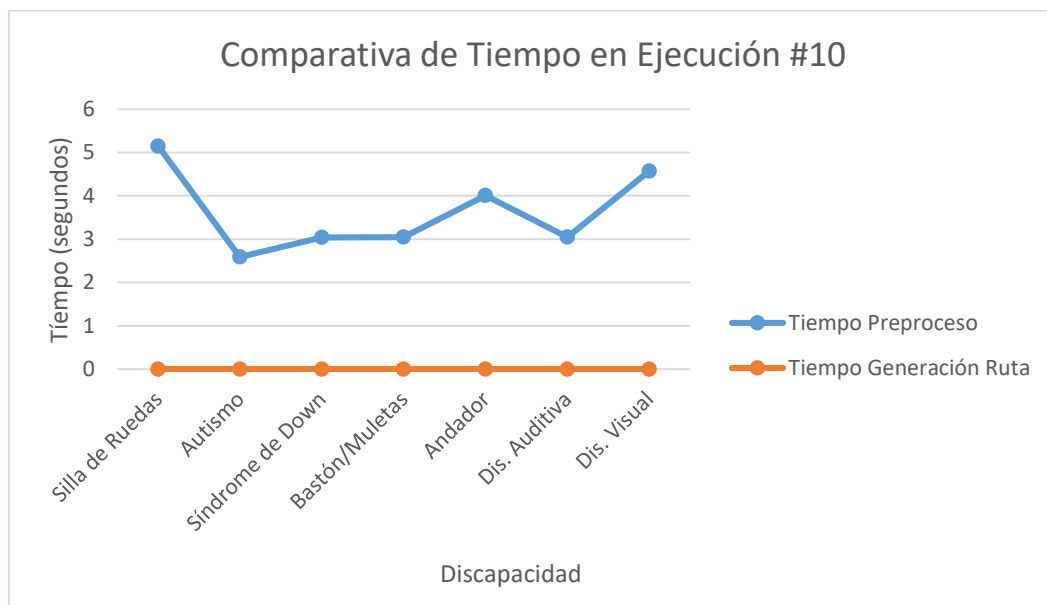


Figura 4-9: Comparativa entre tiempo de ejecución por tipo de discapacidad

En resumen, como se pueden observar en los resultados obtenidos en esta sección, el modelo del sistema de recomendación definido en la sección 3, cumple su objetivo de generar rutas para personas con discapacidad basándose en el perfil de usuario y preferencias sin considerar únicamente la distancia que hay entre los dos puntos, pero también se puede observar que mientras más parámetros se tengan que considerar para el perfil de usuario más tiempo tarda el recomendador en realizar el pre-proceso de información.

## 5 Conclusiones y Trabajos Futuros

### 5.1 Conclusiones

El presente trabajo ha detallado el proceso realizado para establecer el modelo de un sistema de recomendación inteligente de rutas a pie o transporte público para personas con discapacidad cumpliendo con los objetivos trazados inicialmente de forma satisfactoria.

Así, las tareas realizadas en este trabajo son:

- Revisión de la literatura existente en el ámbito en el que se desarrolló este trabajo.
- Se definieron los parámetros de entrada para el sistema de recomendación, los mismos que consisten en una base de datos y ontologías que permiten obtener los datos iniciales para que el recomendador realice el cálculo de ruta de forma correcta.
- Se estableció la estructura de un módulo de traducción que toma los datos tanto de la base de datos como de la ontología que permiten obtener los datos de entrada y transformarlos a un formato que sea entendible por el sistema de recomendación.
- Se creó un modelo para un sistema de recomendación que esté basado en el perfil de usuario y utilizando las preferencias del usuario y estereotipos basados en modelos de conocimiento genere rutas óptimas para personas con discapacidad.
- Se definió un módulo de visualización de datos que permite obtener el resultado final la ruta generada en diferentes formatos multimedia de acuerdo al perfil del usuario.
- Se desarrolló un sistema de pruebas, en el que se verificó que el modelo definido cumplía con el objetivo trazado.

De esta manera, terminado este proceso, se puede concluir que:

- En la actualidad se han realizado varias aproximaciones para realizar modelos de recomendadores que permitan generar rutas para personas con discapacidad, siendo la mayoría para personas con alguna discapacidad física o visual.
- Las ontologías que se han definido cómo parámetros de entrada, así como la base de datos, son fuentes de información que permiten el intercambio de datos de forma ágil entre diferentes fuentes de datos, además de que permiten obtener información de manera más precisa priorizando la información en la que el usuario está interesado.
- El módulo de traducción cumple un factor importante en el modelo ya que permite transformar asociar los elementos de las ontologías con el modelo contextual, de forma que facilite su interpretación por parte del recomendador.
- La información basada en estereotipos es de gran ayuda para generar las rutas cuando el usuario no ingresa mayor información en lo referente a sus preferencias. Los estereotipos al estar basados en parámetros comunes a los diferentes tipos de

discapacidad permiten que se consideren los parámetros correctos para obtener rutas óptimas para el usuario.

- Existen diversos algoritmos para encontrar el camino más corto entre dos puntos, pero en base a la literatura revisada y a la naturaleza de este trabajo, se definió que el algoritmo Dijkstra es el que mejor se ajusta a las necesidades, ya que considera los pesos mínimos para llegar al destino más que la distancia mínima, algo que es sumamente importante en este trabajo.
- El núcleo de control es el componente más importante, es el encargado de generar la ruta basándose en el perfil de usuario y sus preferencias, pero mientras más parámetros a considerar tenga el perfil de usuario se tarda más en generar la ruta.
- El módulo de visualización basado en diferentes formatos multimedia de salida es muy importante, puesto que de esta manera el sistema brindará todas las facilidades que el usuario requiere.
- El mayor inconveniente que se tiene para el modelo es la falta de información de las características que son relevantes tanto de las aceras como de las paradas de transporte público para el correcto funcionamiento del recomendador.

## 5.2 Trabajos Futuros

El trabajo realizado en puede extenderse a futuro de diversas maneras:

- Utilizar las herramientas brindadas por servicios externos que provee Google, Microsoft u Open Street Map, para desarrollar todos los módulos del sistema y obtener una aplicativo funcional que sea de utilidad para las personas con discapacidad.
- El proyecto de Open Street Map (OSM) es un proyecto colaborativo para crear mapas libres y editables, que ya permite ingresar la mayoría de los parámetros que son necesarios tanto para la rutas a pie como para las rutas en transporte público, por lo que siendo uno de los inconvenientes que se tiene para este modelo la falta de información de las paradas de transporte público como de las aceras, se podría optar por usar OSM para ingresar la información y luego usar esta información para el sistema de recomendación por medio del componente *Datos Externos Complementarios* descrito en la sección 3.2.2.2.4.
- Incluir en el modelo la detección de fenómenos externos como por ejemplo detección de atascos, condiciones climáticas extremas, barreras provisionales, etc., que permitan generar mejores resultados para el usuario.



## Referencias

- [1] Organización Mundial de la Salud, «Discapacidad y Salud,» 2016.
- [2] Comisión Europea, «Inclusión de las personas con discapacidad: Estrategia europea de igualdad de oportunidades,» Bruselas, 2007.
- [3] A. P. Rico, «Políticas de educación inclusiva en América Latina. Propuestas, realidades y retos futuros.,» *Revista de educación inclusiva*, vol. 3, nº 2, 2017.
- [4] C. Egea García y A. Sarabia Sánchez, Experiencias de aplicación en España de la Clasificación Internacional de Deficiencias, Discapacidades y Minusvalías, Murcia: Real Patronato de Prevención y de Atención a personas con minusvalía, 2014.
- [5] IMSERSO, *Organización Mundial de la Salud. Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud*, Madrid, 2001.
- [6] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, *Clasificación de Tipo de Discapacidad - Histórica*, México.
- [7] E. L. Martínez, «Apropiación de las tecnologías e inclusión social de las personas con discapacidad visual,» *Revista Digital Universitaria*, vol. 14, nº 12, 2013.
- [8] T. Ahmed, R. Hoyle, P. Shaffer, D. Crandall y A. Kapadia, «Understanding the Physical Safety, Security, and Privacy Concerns of People with Visual Impairments.,» *IEEE Internet Computing*, vol. 21, nº 3, pp. 56-63, 2017.
- [9] S. Veinberg, *La cultura visual en la discapacidad auditiva*, Buenos Aires: Ediciones Novedades educativas, 2000.
- [10] P. Chinithorn, M. Glaser, W. D. Tucker y J. C. Diehl, «Exploration of Deaf People's Health Information Sources and Techniques for Information Delivery in Cape Town: A Qualitative Study for Design and Development of a Mobile Health App,» *JMIR human factors*, vol. 3, nº 2, 2016.
- [11] C. Roos y Á. Wengelin, «The text telephone as an empowering technology in the daily lives of deaf people—A qualitative study,» *Assistive Technology*, vol. 28, nº 2, pp. 63-73, 2016.
- [12] P. Resnick y H. R. Varian, «Recommender Systems,» *Communications of the ACM*, vol. 40, nº 3, pp. 56-58, 1997.
- [13] J. B. Schafer, J. A. Konstan y J. A. Riedl, «E-commerce recommendation applications.,» de *Applications of data mining to electronic commerce*, Springer US, 2001, pp. 115-153.

- [14] G. Adomavicius y A. Tuzhilin, «Personalization technologies: a process-oriented perspective.,» *Communications of the ACM*, vol. 48, nº 10, pp. 83-90, 2005.
- [15] R. Burke, «Hybrid recommender systems: Survey and experiments.,» *User modeling and user-adapted interaction*, vol. 12, nº 4, pp. 331-370, 2002.
- [16] A. Kobsa, J. Koenemann y W. Pohl, «Personalised hypermedia presentation technique for improving online customer relationships,» *The knowledge engineering review*, vol. 16, nº 2, pp. 111-155, 2001.
- [17] A. Ruiz Iniesta, *Sistemas de recomendación: Presente y futuro de la web*, Madrid: Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial. Universidad Complutense de Madrid.
- [18] D. Billsus y M. J. Pazzani, «User modeling for adaptative news access.,» *User modeling and user-adapted interaction*, vol. 10, nº 2-3, pp. 147-180, 2000.
- [19] I. Schwab, A. Kobsa y I. Koychev, «Learning user interests through positive examples using content analysis and collaborative filtering,» Internal Memo, GMD, St. Augustin - Germany, 2001.
- [20] B. Towle y C. Quinn, «Knowledge based recommender systems using explicit user models,» de *Proceedings of the AAAI Workshop on Knowledge-Based Electronic Markets*, 2000, pp. 74-77.
- [21] F. Lorenzi, F. Ricci, R. Tostes y R. Brasil, «Case-based recommender systems: A unifying view,» de *Lecture notes in computer science*, Berlín, Springer, 2005, pp. 89-113.
- [22] M. Ge, C. Delgado-Battenfeld y D. Jannach, «Beyond accuracy: evaluating recommender systems by coverage and serendipity,» de *Proceedings of the fourth ACM conference on Recommender systems*, ACMD, 2010, pp. 257-260.
- [23] A. Felfernig, G. Friedrich, D. Jannach y M. Zanker, «An integrated environment for the development of knowledge-based recommender applications,» *International Journal of Electronic Commerce*, vol. 11, nº 2, pp. 11-34, 2006.
- [24] B. Sarwar, G. Karypis, K. Karypis, J. Riedl y J. Riedl, «Analysis of recommendation algorithms for e-commerce,» de *Proceedings of the 2nd ACM conference on Electronic commerce*, Minneapolis, Minnesota: ACM, 2000, pp. 158-167.
- [25] R.-Q. Wang y F.-S. Kong, «Semantic-enhanced personalized recommender system,» *Machine Learning and Cybernetics, 2007 International Conference*, vol. 7, pp. 4069-4074, 2007.
- [26] P. Lops, M. De Gemmis y G. Semeraro, «Content-based recommender systems: State of the art and trends.,» de *Recommender systems handbook*, Springer US, 2011, pp. 73-105.

- [27] C.-N. Ziegler, L. Schmidt-Thieme y G. Lausen, «Exploiting semantic product descriptions for recommender systems,» de *Proceedings of the 2nd ACM SIGIR Semantic Web and Information Retrieval Workshop*, 2004, pp. 25-29.
- [28] S. Kim y J. Kwon, «Effective context-aware recommendation on the semantic web,» *International Journal of Computer Science and Network Security*, vol. 7, nº 8, pp. 154-159, 2007.
- [29] K. Petersen, «Systematic Mapping Studies in Software Engineering,» *EASE*, vol. 8, pp. 68-77, 2008.
- [30] M. L. Fernández Ramírez, *Ágora: Creación de grupos virtuales en bibliotecas digitales*, Puebla: Universidad de la Américas, 1998.
- [31] M. A. Babar y H. Zhang, «Systematic literature reviews in software engineering: Preliminary results from interviews with researches,» *Empirical Software Engineering and Measurement*, pp. 346-355, 2009.
- [32] A. Idrees, Z. Iqbal y M. Ishfaq, «An efficient indoor navigation technique to find optimal route for blinds using QR codes,» de *Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2015 IEEE 10th Conference on*, IEEE, 2015, pp. 690-695.
- [33] L. Ferrari, M. Berlingerio, F. Calabrese y J. Reades, «Improving the accessibility of urban transportation networks for people with disabilities,» *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 45, pp. 27-40, 2014.
- [34] H. A. Karimi, M. B. Dias, J. Pearlman y G. J. Zimmerman, «Wayfinding and navigation for people with disabilities using social navigation networks,» *EAI Endorsed Transactions on Collaborative Computing*, vol. 1, nº 2, p. e5, 2014.
- [35] H. Holone y M. Gunnar, «People helping computers helping people: Navigation for people with mobility problems by sharing accessibility annotations,» *Computers Helping People with Special Needs*, pp. 1093-1100, 2008.
- [36] A. Mancini y P. Zingaretti, «Point to point navigation for people with mobility impairments,» de *Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA), 2014 IEEE/ASME 10th International Conference on*, IEEE, 2014, pp. 1-6.
- [37] D. Karimanzira, P. Otto y J. Wernstedt, «Application of machine learning methods to route planning and navigation for disabled people,» de *MIC'06: Proceedings of the 25th IASTED international conference on Modeling, indentification, and control*, ACTAPRESS, 2006, pp. 366-371.

- [38] M. Kiliñarlan, «Implementation of a path finding algorithm for the navigation of visually impaired people,» MS thesis in Computer Engineering, Atilim University, Ankara, 2007.
- [39] S. Kammoun, F. Dramas, B. Oriolaand y C. Jouffrais, «Route selection algorithm for blind pedestrian,» de *Control Automation and Systems (ICCAS), 2010 International Conference on*, IEEE, 2010, pp. 2223-2228.
- [40] C. Menkens, J. Sussmann, M. Al-Ali, E. Breitsameter, J. Frtunik, T. Nendel y T. Schneiderbauer, «EasyWheel-A mobile social navigation and support system for wheelchair users,» de *Information Technology: New Generations (ITNG), 2011 Eighth International Conference on*, IEEE, 2011, pp. 859-866.
- [41] A. Sobek y M. Harvey, «U-Access: a web-based system for routing pedestrians of differing abilities,» *Journal of geographical systems*, vol. 8, nº 3, pp. 269-287, 2006.
- [42] V. Kulyukin y J. Nicholson, «Toward blind travel support through verbal route directions: a path inference algorithm for inferring new route descriptions from existing route descriptions,» *Open Rehabilitation Journal*, vol. 5, pp. 22-40, 2012.
- [43] P. Neis y D. Zielstra, «Generation of a tailored routing network for disabled people based on collaboratively collected geodata,» *Applied Geography*, vol. 47, pp. 70-77, 2014.
- [44] F.-M. Hsu, Y.-T. Lin y T.-K. Ho, «Design and implementation of an intelligent recommendation system for tourist attractions: The integration of EBM model, Bayesian network and Google Maps,» *Expert Systems with Applications*, vol. 39, nº 3, pp. 3257-3264, 2012.
- [45] L. Liu y L. Meng, «Algorithms of Multi-Modal Route Planning Based on the Concept of Switch Point,» *Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation*, nº 5, pp. 431-444, 2009.
- [46] P. Kasemsuppakorn y H. Karimi, «Personalised routing for wheelchair navigation,» *Journal of Location Based Services*, vol. 3, nº 1, pp. 24-54, 2009.
- [47] K. M. De Oliveira, F. Bacha, H. Mnasser y M. Abed, «Transportation ontology definition and application for the content personalization of user interfaces,» *Expert Systems with Applications*, vol. 8, nº 40, pp. 3145-3159, 2013.
- [48] S. Verswyvel, *Normativa de Accesibilidad*, 2003.
- [49] A. Popescul, D. M. Pennock y S. Lawrence, «Probabilistic models for unified collaborative and content-based recommendation in sparse-data environments,» de *Proceedings of the Seventeenth conference on Uncertainty in artificial intelligence*, Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2001, pp. 437 - 444.
- [50] National Roads Authority, *Pedestrian Crossing Specification and Guidance*, 2011.

- [51] J. H. a. S. J. J. Restrepo, «Aplicación de la teoría de grafos y el algoritmo de Dijkstra para determinar las distancias y las rutas más cortas en una ciudad,» *Scientia et technica*, vol. 10, nº 26, 2004.
- [52] J.-C. Chen, «Dijkstra's shortest path algorithm,» *Journal of Formalized Mathematics*, vol. 15, nº 9, 2003.
- [53] P. Lester, *A\* pathfinding for beginners*, 2005.
- [54] R. Marín y J. T. Palma, *Inteligencia Artificial: métodos, técnicas y aplicaciones*, McGraw-Hill, 2008.
- [55] A. Goy y L. Ardissono, «Personalization in e-commerce application,» de *The adaptative Web*, Berlín Heidelberg, Springer, 2007, pp. 485-520.
- [56] V. Kashyap, C. Bussler y M. Moran, *The Semantic Web*, Springer, 2008.
- [57] G. Antoniou, V. Christophides y D. Plexousakis, «The Semantic Web: Key Ideas,» de *Encyclopedia of Artificial Intelligence*, Idea Group, 2004.
- [58] Object Management Group, *MDA Guide*, 2003.
- [59] Real Academia de Ingeniería, *Diccionario Español de Ingeniería*, 2002.