

## TABLA DE CONTENIDOS

|  | página     |
|--|------------|
| <b>Dedicatoria</b>                                       | <b>I</b>   |
| <b>Agradecimientos</b>                                   | <b>II</b>  |
| <b>Tabla de Contenidos</b>                               | <b>III</b> |
| <b>Índice de Figuras</b>                                 | <b>V</b>   |
| <b>Índice de Tablas</b>                                  | <b>VI</b>  |
| <b>Resumen</b>   | <b>VII</b> |
| <b>1. Introducción</b>                                   | <b>9</b>   |
| 1.1. Descripción del problema . . . . .                  | 9          |
| 1.2. Hipótesis . . . . .                                 | 10         |
| 1.3. Objetivos . . . . .                                 | 10         |
| 1.3.1. Objetivos generales . . . . .                     | 10         |
| 1.3.2. Objetivos específicos . . . . .                   | 10         |
| 1.4. Metodología . . . . .                               | 11         |
| 1.5. Alcances . . . . .                                  | 12         |
| 1.6. Contribuciones . . . . .                            | 12         |
| <b>2. Contexto</b>                                       | <b>13</b>  |
| 2.1. Introducción a la teoría de grafos . . . . .        | 13         |
| 2.2. Bases de datos orientadas a grafos (BDOG) . . . . . | 16         |
| 2.2.1. Grafos con propiedades . . . . .                  | 17         |
| 2.2.2. Sistemas de gestión de BDOG . . . . .             | 19         |
| 2.2.3. Aplicaciones que usan BDOG . . . . .              | 21         |
| 2.3. RDF . . . . .                                       | 21         |
| 2.3.1. El modelo de datos RDF . . . . .                  | 21         |
| 2.3.2. RDF Schema . . . . .                              | 25         |
| 2.4. SPARQL . . . . .                                    | 26         |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 2.5.      | Bases de datos RDF (RDF Stores) . . . . .                         | 33         |
| 2.6.      | Gestión de datos RDF usando BDOG . . . . .                        | 35         |
| <b>3.</b> | <b>Almacenamiento de datos RDF como grafos</b>                    | <b>36</b>  |
| 3.1.      | RDF y esquema de datos para un grafo RDF. . . . .                 | 36         |
| 3.2.      | Property Graph Model (PGM) . . . . .                              | 40         |
| 3.3.      | Método estricto . . . . .   | 45         |
| 3.4.      | Método flexible . . . . .   | 49         |
| 3.5.      | Análisis de los métodos de almacenamiento . . . . .               | 53         |
| 3.6.      | Implementación del método flexible . . . . .                      | 55         |
| <b>4.</b> | <b>Consulta de datos RDF como grafos</b>                          | <b>58</b>  |
| 4.1.      | Transformación de SPARQL a Cypher . . . . .                       | 58         |
| 4.2.      | Transformación de SPARQL a Sparksee API . . . . .                 | 61         |
| 4.3.      | Transformación de SPARQL a Sparksee API utilizando Jena . . . . . | 65         |
| <b>5.</b> | <b>Definición y evaluación del API</b>                            | <b>91</b>  |
| 5.1.      | Clases y métodos . . . . .  | 91         |
| 5.2.      | Pruebas sobre patrones de triples . . . . .                       | 95         |
| 5.3.      | Evaluación usando GDBench . . . . .                               | 98         |
| <b>6.</b> | <b>Conclusiones</b>   | <b>110</b> |
|           | <b>Bibliografía</b>   | <b>113</b> |
|           | <b>Anexos</b>   |            |
| <b>A:</b> | <b>API</b>  | <b>117</b> |
| A.1.      | Clase Mapper . . . . .  | 117        |
| A.2.      | Clase MyGraphBase . . . . .                                       | 152        |
| A.3.      | Clase Namespace . . . . .   | 152        |
| A.4.      | Clase StreamRdfReader . . . . .                                   | 156        |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  | página |
|--|--------|
| 2.1. Representación gráfica de un grafo. . . . .                               | 14     |
| 2.2. Representación gráfica de un <i>property graph</i> . . . . .              | 18     |
| 2.3. Definición y ejemplo de triple RDF. . . . .                               | 22     |
| 2.4. Ejemplo de instancia de datos RDF . . . . .                               | 23     |
| 2.5. Ejemplo de esquema de datos RDF usando RDF Schema . . . . .               | 26     |
| 3.1. Esquema de datos para un grafo RDF. . . . .                               | 37     |
| 3.2. Esquema de datos para un <i>property graph</i> . . . . .                  | 41     |
| 3.3. Arquitectura de Jena. . . . .   | 56     |
| 3.4. Diagrama para lectura de datos utilizando Jena. . . . .                   | 57     |
| 4.1. Diagrama para consultar datos utilizando Jena. . . . .                    | 66     |
| 5.1. Resultados de evaluar las consultas 1 a 3 con 100.000 nodos . . . . .     | 102    |
| 5.2. Resultados de evaluar las consultas 4 a 6 con 100.000 nodos . . . . .     | 103    |
| 5.3. Resultados de evaluar las consultas 7 a 9 con 100.000 nodos . . . . .     | 104    |
| 5.4. Resultados de evaluar las consultas 10 a 13 con 100.000 nodos . . . . .   | 105    |
| 5.5. Resultados de evaluar las consultas 1 a 3 con 1.000.000 nodos . . . . .   | 106    |
| 5.6. Resultados de evaluar las consultas 4 a 6 con 1.000.000 nodos . . . . .   | 107    |
| 5.7. Resultados de evaluar las consultas 7 a 9 con 1.000.000 nodos . . . . .   | 108    |
| 5.8. Resultados de evaluar las consultas 10 a 13 con 1.000.000 nodos . . . . . | 109    |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  | página |
|--|--------|
| 2.1. Características de algunas bases de datos de grafos. . . . .              | 20     |
| 2.2. Características de algunas bases de datos RDF. . . . .                    | 34     |
| 3.1. Componentes de un esquema de datos RDF. . . . .                           | 37     |
| 3.2. Estructura general de un esquema de datos <i>property graph</i> . . . . . | 41     |
| 3.3. Reglas de transformación RDF a <i>Property Graph</i> . . . . .            | 47     |
| 4.1. Ejemplo de patrones de triples. . . . .                                   | 67     |