

Instituto Politécnico Nacional
Escuela Superior de Cómputo

Trabajo Terminal No. 2019-B052

Herramienta para transformar un modelo
entidad-relación a un modelo no relacional

Presentan:

Aparicio Quiroz Omar
Martínez Acosta Eduardo

Directoras:

M. en C. Ocotitla Rojas Nancy
D. en C. Chavarria Baez Lorena

Índice general

1. Introducción	7
1.1. Descripción del problema	8
1.2. Propuesta de solución	9
1.3. Justificación	9
1.4. Objetivos	9
1.5. Alcance y limitaciones	10
2. Estado del Arte	12
2.1. Kashliev Data Modeler	12
2.2. NoSQL Workbench for Amazon DynamoDB	13
2.3. HacKolade	13
2.4. Mortadelo	14
2.5. NoSE: Schema Design for NoSQL Applications	17
2.6. Conclusiones	18
3. Marco Teórico	19
3.1. Modelos de datos para bases de datos	19
3.1.1. Modelo entidad-relación	20
3.1.1.1. Entidades	20
3.1.1.2. Atributos	21
3.1.1.3. Relaciones	22
3.1.1.4. Resumen de la notación para los diagramas ER	24
3.1.2. Modelo relacional	25
3.1.2.1. Relaciones	26
3.1.2.2. Claves	27
3.1.2.3. Restricciones de integridad	28
3.1.2.4. Propiedades de las relaciones	28

3.1.2.5.	ACID	28
3.1.2.6.	Structured Query Language	29
3.1.3.	Modelos NoSQL	30
3.1.3.1.	Teorema CAP	30
3.1.3.2.	Clave-Valor	31
3.1.3.3.	Orientado a documentos	32
3.1.3.4.	Orientado a columnas	34
3.1.3.5.	Orientado a grafos	35
3.2.	Tecnologías a usar	36
3.2.1.	Hypertext Transfer Protocol	36
3.2.2.	HTML 5	38
3.2.3.	Style Sheet Language: CSS vs SASS	38
3.2.4.	Web Frameworks	41
3.2.5.	JavaScript Web Frameworks: Vue/Nuxt vs React vs Angular	43
3.2.6.	CSS Frameworks: Vuetify vs Bootstrap	45
3.2.7.	MongoDB vs Apache CouchDB	46
3.2.8.	Bibliotecas JavaScript para diagramado: GoJS vs Fabric.js vs D3.js	47
3.2.9.	Python 3	48
3.2.10.	Django vs Flask	50
3.3.	Conclusiones	52
4.	Análisis y Diseño del Sistema	54
4.1.	Metodología	54
4.1.1.	Scrum	55
4.1.1.1.	Historias de usuario	56
4.1.1.2.	Lista de producto (<i>product backlog</i>)	62
4.2.	Análisis de factibilidad	65
4.2.1.	Factibilidad técnica	65
4.2.1.1.	Sistema operativo	65
4.2.1.2.	Lenguaje de desarrollo	65
4.2.1.3.	Sistema gestor de base de datos	66
4.2.2.	Factibilidades económica	67
4.2.2.1.	Métricas orientadas a la función	67
4.2.2.2.	Puntos de función	67

4.2.3. Costos de desarrollo	69
5. Algoritmos	72
5.1. Validación estructural diagrama entidad-relación	72
5.2. Modelo entidad-relación a relacional	77
5.3. Obtención de esquema SQL desde modelo relacional	81
5.4. Modelo entidad-relación a Generic Data Metamodel	81
5.5. Generic Data Metamodel a modelo lógico NoSQL	81
5.6. Modelo lógico NoSQL a modelo físico en MongoDB	83
A. Apéndice	85
A.1. Unified Modeling Language	85
A.2. El modelo entidad-relación extendido	88
A.3. Álgebra relacional	90

Índice de figuras

2.1. Mortadelo	14
2.2. Generic Data Metamodel	15
2.3. Notación textual del GDM	16
2.4. Modelo lógico orientado a documentos de Mortadelo	17
3.1. Tabla en el modelo relacional	27
3.2. <i>Bucket</i> en el almacenamiento clave-valor	32
3.3. Documento en el almacenamiento de documentos	33
3.4. Familia de columnas	34
3.5. modelo conceptual orientado a grafos	35
5.1. Taxonomía de relaciones recursivas	73
5.2. Access Tree - Modelo lógico orientado a documentos	82
5.3. Access query Q4	82
A.1. Asociación	86
A.2. Agregación	87
A.3. Asociación rombo sin rellenar y composición rombo negro	87

Índice de tablas

2.1. Tabla comparativa de las herramientas estudiadas y la propuesta de solución.	18
3.1. Notación del modelo entidad-relación	25
4.1. Lista de producto	65
4.2. Equipo de cómputo	67
4.3. Cálculo de las métricas por puntos de función	67
4.4. Factores de ajuste	68
4.5. Costos del personal	70
4.6. Costos por licencias de software	70
4.7. Costos por servicios	70
5.1. Tipos de relación recursiva válidos según las restricciones de cardinalidad	74
5.2. Resumen de reglas de validez para relaciones recursivas con ejemplos	75
5.3. Resumen de reglas de validez para relaciones binarias con ejemplos	76
5.4. Correspondencia entre los modelos ER y relacional.	80

Resumen

Capítulo 1

Introducción

En los últimos años, los sistemas *Not only SQL* o NoSQL han surgido como alternativa a los sistemas de bases de datos relacionales y se enfocan, principalmente, en buscar resolver problemáticas inherentes al usarlas en algunos escenarios.

Los sistemas NoSQL admiten diferentes modelos de datos, como los de clave-valor, documentos, columnas y grafos; con ello se enfocan en guardar datos de una manera apropiada de acuerdo a los requisitos actuales para la gestión de datos en la web o en la nube, enfatizando la escalabilidad, la tolerancia a fallos y la disponibilidad a costa de la consistencia.

De acuerdo a Google Trends[1], en 2009 aumentó el interés en los sistemas NoSQL y desde entonces, también empezaron a resaltar algunas problemáticas propias de estos sistemas, porque si bien resuelven algunos dilemas de las bases de datos relacionales, por enfocarse en la ya mencionada escalabilidad, la tolerancia a fallos o la flexibilidad para realizar cambios en el esquema de la base de datos, la heterogeneidad de los sistemas NoSQL ha llevado a una amplia diversificación de las interfaces de almacenamiento de datos, provocando la pérdida de un paradigma de modelado común o de un lenguaje de consultas estándar como SQL.

Respecto al modelado de datos, en el diseño de las bases de datos tradicionales, el modelo entidad-relación[2] es el modelo conceptual más usado y tiene procedimientos bien establecidos como resultado de décadas de investigación; sin embargo, para los sistemas NoSQL los enfoques tradicionales de diseño de bases de datos no proporcionan un soporte adecuado para satisfacer el modelado de sus diferentes modelos de datos y para abordar esta problemática se han creado varias metodologías de diseño para sistemas NoSQL en los últimos años, porque los diseñadores de bases de datos deben tener en cuenta no solo qué datos se almacenarán en la base de datos, sino también cómo se accederán a ellos para modelar estos sistemas [3]-[5].

Para tener en cuenta cómo se accederán a los datos se debe conocer cómo se realizarán las consultas de los mismos y de acuerdo al trabajo de Mosquera[6], que es una investigación de 1376 *papers* sobre el modelado de sistemas NoSQL, se muestra que de las metodologías propuestas la mayoría usa el lenguaje de modelado UML (*Unified Modeling Language*), mientras que algunos proponen su propio modelo conceptual y en cada propuesta presentan una manera de representar las consultas de los datos; en resumen, en la literatura sobre el tema solo existen cinco herramientas propuestas para el modelado conceptual y, en general, no hay una tendencia en el

modelado de datos NoSQL.

Lo que resta del capítulo está organizado de la siguiente manera: primero se muestra la problemática a resolver, después la propuesta de solución, la justificación, los objetivos del proyecto y por último se menciona el alcance con las limitaciones del mismo.

1.1. Descripción del problema

Como se ha visto en la introducción, son pocas las herramientas propuestas en la literatura para el modelado de sistemas NoSQL en sus tres niveles de abstracción (nivel conceptual, lógico y físico).

Solo en el modelado conceptual, el modelo entidad-relación puede considerarse como una tendencia, sin embargo, el modelo entidad-relación por sí mismo no es suficiente para representar cómo se consultarán los datos ni tampoco con qué frecuencia se accederán a ellos; por eso, para modelar sistemas NoSQL es necesario conocer enfoques de desarrollo como el *query-driven design*, el *domain-driven design*, el *data-driven design* o el *workload-driven design*.

En general, para los modelos de datos NoSQL no hay un modelo estándar ni tampoco existe un acuerdo sobre la mejor definición de reglas de transformación entre sus tres niveles de abstracción; por ejemplo, en la literatura sobre el tema hay unos 36 estudios que proponen diferentes enfoques para las transformaciones.

Por los pocos años que han pasado desde que el interés sobre el tema aumentó, que son usados estos sistemas de bases de datos y los diferentes enfoques de transformación entre modelos, aún no se ven reflejados en los programas de estudio o solo se da una introducción del tema a los estudiantes de licenciatura en ingeniería en sistemas o carreras afines.

Asimismo, el estudiante tiene problemas para diseñar una base de datos relacional, porque desde el modelado conceptual tiene que confiar en sus conocimientos recientemente adquiridos para verificar la validez de los diagramas entidad-relación que desarrolla o consultarlo con el maestro de turno.

En consecuencia, para el estudiante es un problema tener que enfrentarse a diseñar un sistema NoSQL, porque no tiene la certeza de desarrollar diagramas entidad-relación válidos, no se le enseña ninguna metodología de desarrollo para sistemas NoSQL, tampoco conoce los distintos modelos de datos NoSQL que hay, mucho menos sus ventajas o desventajas para poder elegir el modelo más apropiado para su aplicación y, como resultado, no visualiza el diseño de una base de datos no relacional a partir de los conocimientos adquiridos en la asignatura de Bases de Datos.

Además, la escasez de herramientas CASE para el diagramado de esquemas no relacionales o herramientas que apoyen la migración de un modelo entidad-relación o relacional a uno no relacional aumenta la complejidad para que el estudiante haga uso de una base de datos no relacional.

1.2. Propuesta de solución

Desarrollar una aplicación web que permita:

- La edición de un diagrama entidad-relación.
- Realizar la validación estructural del diagrama entidad-relación.
- Transformar el diagrama entidad-relación a un diagrama del modelo relacional.
- Obtener el esquema de la base de datos en sentencias SQL del diagrama relacional.
- Obtener el modelo conceptual de un modelo de datos NoSQL.
- Obtener el esquema de datos NoSQL en un NoSQL DBMS (*NoSQL Database Management System*).

1.3. Justificación

Las pocas herramientas para modelado conceptual NoSQL no ofrecen validaciones para sus diagramas ni dan la posibilidad de obtener el esquema SQL, ya que no están enfocados en sistemas relacionales y se enfocan en un modelo lógico y físico específico para cada tipo sistemas NoSQL (clave-valor, orientado a documentos, columnas o grafos).

Asimismo, como se mencionó en la introducción, por los pocos años que han pasado desde que el interés y el uso de los sistemas NoSQL aumentó, estos sistemas todavía no están reflejados en los programas de estudio.

En consecuencia, para abordar esta problemática en la que el estudiante diseñe un sistema NoSQL sin haber aprendido ninguna metodología de desarrollo para dichos sistemas y sin que logre visualizar en primera instancia el diseño de una base de datos no relacional a partir de lo que ve en la asignatura de Bases de Datos, se propone una herramienta CASE que apoye al estudiante a diseñar una base de datos NoSQL a partir de los conocimientos adquiridos del estudiante.

Se usará como modelo conceptual el modelo entidad-relación por ser un modelo bien conocido para el estudiante de licenciatura en sistemas, que está probado en el área de las bases de datos y de acuerdo con Mosquera[6], es también el más usado en las investigaciones sobre el modelado conceptual de sistemas NoSQL.

1.4. Objetivos

Objetivo general

Desarrollar una aplicación web que permita la edición de un diagrama de bases de datos bajo el modelo entidad-relación y realice la validación del mismo; el diagrama podrá ser transformado al modelo relacional con la posibilidad de obtener el

esquema de la base de datos en sentencias SQL, o bien, obtendrá el modelo conceptual en un modelo de datos no relacional y tendrá la posibilidad de implementar el modelo no relacional en un NoSQL DBMS (*NoSQL Database Management System*).

Objetivos específicos

La edición del diagrama entidad-relación (o diagrama ER) se implementará con alguna biblioteca para diagramado, en donde al usuario se le permitirá arrastar los entidades, atributos y relaciones del diagrama ER desde una “paleta” a la zona para diagramar, conocida también como “canvas”.

La validación del diagrama ER se realizará con eventos de escucha en el “canvas” o zona de diagramado y será de acuerdo a reglas de validación que se expondrán más adelante.

La transformación del diagrama ER al diagrama del esquema relacional se realizará con alguno de los algoritmos bien conocidos en la literatura del tema y se generará el esquema de sentencias SQL desde el diagrama del esquema relacional.

Se usará algún modelo conceptual NoSQL que ya exista en la literatura del tema.

Finalmente, se generará el esquema de una base de datos NoSQL desde el modelo conceptual elegido y se probará en un único NoSQL DBMS.

1.5. Alcance y limitaciones

De acuerdo con Dullea[7], un diagrama ER es válido solo si es estructural y semánticamente válido; sin embargo, hasta donde se sabe, en los últimos 17 años no hay estudios sobre la validez semántica de un diagrama ER, porque como expresa Dullea en su trabajo, la validez semántica depende del minimundo que se quiere representar en el diagrama y es imposible definir una métrica generalizada; por ello la validez de un diagrama ER será solo estructuralmente.

Se usará la notación oficial en los modelos de datos conceptuales entidad-relación y relacional, es decir, la notación de Chen y la notación de Codd, respectivamente.

Para la generación de *scripts* del esquema de datos relacional se usará el lenguaje de consultas SQL.

Asimismo, los *scripts* generados se probarán con MySQL porque es el DBMS que se usa en la asignatura de Base de Datos y es con el que están más familiarizados los estudiantes.

Para la transformación del modelo ER al esquema del modelo relacional no se realizará ninguna normalización, porque está fuera del alcance para el equipo programar la lógica necesaria y se necesita un diagrama no normalizado para la transformación al modelo conceptual NoSQL.

Dado que hay varias propuestas en la literatura sobre modelos conceptuales

NoSQL, se optará por usar la propuesta de Alfonso de la Vega[8], ya que el modelo que propone, conocido como Generic Data Metamodel, es un metamodelo conceptual que describe un modelo de datos NoSQL independientemente de si es de clave-valor, orientado a documentos, a columnas o grafos.

Los *scripts* NoSQL generados por la aplicación solo serán probados y ejecutados en un único NoSQL DBMS.

Se elegirá el modelo de datos orientado a documentos y se usará MongoDB para probar los *scripts* NoSQL generados por la aplicación, porque de acuerdo a Mosquera[6], las de bases de datos orientadas a documentos son las más estudiadas y MongoDB es el NoSQL DBMS más probado para modelado físico en la literatura del tema.

Respecto al registro de los usuarios, se podrá acceder a la aplicación con un correo válido o uno que no lo sea, teniendo en cuenta de que si no crea su cuenta con un correo válido, no le llegará notificación de correo que le indica que se ha registrado exitosamente junto con su contraseña.

El diagramador ER solo podrá editar elementos del modelo entidad-relación, no se podrá diagramar elementos del modelo entidad-relación extendido ni de ningún otro modelo.

No se podrá editar el diagrama generado para el esquema del modelo relacional; tampoco se podrá editar el diagrama conceptual del modelo NoSQL.

Capítulo 2

Estado del Arte

De acuerdo a varios autores [4], [9], [10], un modelo conceptual que especifique solo qué entidades conforman el sistema no es suficiente, porque para los sistemas NoSQL es clave conocer cómo las entidades del modelo conceptual serán consultadas.

Debido a lo anterior, estos autores complementan los modelos conceptuales tradicionales como el modelo entidad-relación o el modelo relacional con propuestas sobre cómo conocer los patrones de acceso; sin embargo, ¿qué herramientas usan estas propuestas?

Para responder esta pregunta en este capítulo se presenta una investigación de herramientas similares, empezando por dos inspiradas en el modelo conceptual propuesto por Chebotko en 2015.

Además, se muestran otras tres herramientas, todas basadas en diferentes propuestas sobre modelado conceptual, explicando a detalle Mortadelo, la herramienta que hace uso del modelo conceptual elegido en el proyecto para representar una base de datos NoSQL.

Lo que resta de este capítulo está organizado de la siguiente manera: se presenta la descripción de cada oferta y se finaliza en las conclusiones con una tabla comparativa.

2.1. Kashliev Data Modeler

De acuerdo al sitio web de KDM[11], Kashliev Data Modeler es una herramienta de modelado desarrollada el profesor asistente del Departamento de informática de la Universidad del Oeste Michigan, Andrii Kashliev, que automatiza el diseño de esquemas para una base de datos NoSQL orientada a columnas en Apache Cassandra.

Por medio de una aplicación web KDM ayuda al usuario comenzando con un modelo conceptual ER más consultas asociadas para generar un modelo lógico y físico de datos o *scripts* CQL (Cassandra Query Language).

KDM automatiza:

1. El mapeo conceptual a lógico.

-
2. El mapeo lógico a físico.
 3. La generación de *scripts* CQL.

El modelo conceptual usado en KDM es el propuesto por Chebotko[4] y automatiza el proceso de transformación entre los tres niveles de modelos (conceptual, lógico y físico).

Además, cuenta con una versión de prueba de tiempo indefinido con características limitadas que permite la generación de un modelo lógico y guardar los proyectos.

2.2. NoSQL Workbench for Amazon DynamoDB

De acuerdo al sitio web de Amazon[12], NoSQL Workbench for Amazon DynamoDB es una herramienta desarrollada por Amazon que proporciona funciones de desarrollo de consultas, modelado y visualización de datos para diseñar, crear, consultar y administrar bases de datos NoSQL orientadas a columnas.

NoSQL Workbench for Amazon DynamoDB usa el modelo conceptual propuesto por Chebotko[4].

El visualizador de modelo de datos proporciona un lienzo donde se asignan consultas y visualizan las facetas (parte de la base de datos) de la aplicación sin tener que escribir código.

Cada faceta corresponde a un patrón de acceso diferente en DynamoDB, donde cada patrón se agrega manualmente; cuenta con un generador de operaciones para ver, explorar y consultar conjuntos de datos.

Por último, admite la proyección, la declaración de expresiones condicionales y permite generar código de muestra en varios idiomas.

2.3. HacKolade

De acuerdo al sitio web de la herramienta[13], Hackolade es un *software* con capacidad de representar objetos JSON anidados; la aplicación combina la representación gráfica de colecciones (término usado en las bases de datos orientados a documentos) y vistas en un diagrama.

La aplicación está basada en la denormalización, el polimorfismo y las matrices anidadas JSON; la representación gráfica de la definición del esquema JSON de cada colección está en una vista de árbol jerárquica.

Lamentablemente, en el sitio web de Hackolade no hay información sobre el modelo conceptual en el que está basado su aplicación.

Es una herramienta de modelado de datos para MongoDB, Neo4j, Cassandra, Couchbase, Cosmos DB, DynamoDB, Elasticsearch, HBase, Hive, Google BigQuery, Firebase/Firestore, MarkLogic, entre otros.

2.4. Mortadelo

De acuerdo con de la Vega[8], Mortadelo está basado en el *model driven*; es decir que para diseñar bases de datos NoSQL necesita de modelos conceptuales bien definidos.

Lo anterior implica usar dos modelos diferentes pero interrelacionados que añaden complejidad al modelado de la base datos; por esta razón de la Vega propone el Generic Data Metamodel (GDM), que es un modelo conceptual NoSQL donde la estructura (entidades, atributos, relaciones entre entidades) y patrones de acceso (cómo se consultarán los datos) están integradas en un mismo modelo conceptual.

Cabe destacar que el GDM es un modelo conceptual independiente del paradigma NoSQL, por lo que puede representar una base de datos NoSQL de clave-valor, orientado a documentos, orientado a columnas u orientado a grafos.

La figura 2.1 muestra los tres pasos principales de Mortadelo, empezando desde la izquierda con su propuesta de modelo conceptual NoSQL, el Generic Data Metamodel, siguiendo con una representación de los modelos lógicos orientado a columnas o documentos en los que realiza “modelo a modelo” (M2M) para generar el modelo lógico, para finalizar una transformación “modelo a texto” (M2T) con el modelo físico de cada modelo lógico, respectivamente.



Figura 2.1: Mortadelo

Mortadelo: modelo conceptual (Generic Data Metamodel)

La figura 2.2 muestra el Generic Data Metamodel, que está compuesto por clases interrelacionadas entre sí con notación UML¹ y consta de dos secciones principales: los elementos de la estructura (*structure model elements*) y el cómo se realizarán las consultas (*access queries elements*).

¹La simbología usada en los diagramas de clase UML está en el apéndice



Figura 2.2: Generic Data Metamodel

A continuación se da una explicación de cada elemento de la figura 2.2 donde la clase *model* es para indicar que un modelo GDM tiene n entidades y n consultas donde $n = 0, 1, \dots, n$.

Structure model elements

- Clase *entity*: contiene *features* y solo es referenciada directamente desde las clases *from* y *reference*.
- Clase *feature*: es una clase abstracta, una *reference*, un *attribute*, o hereda de la clase *annotatable element* para que la instancia de la clase sea comentada con indicadores de texto que proveen información extra para generar el modelo lógico.
- Clase *reference*: empieza con la palabra clave “ref”, un nombre de tipo de entidad, una cardinalidad y un nombre de referencia. Por ejemplo: “ref Category[*] categories” define una referencia llamada *categories*, del tipo de entidad *category* con una cardinalidad de cero a varios.
- Clase *attribute*: contiene un tipo y un identificador de unicidad.
- Clase *annotatable element*: es una clase abstracta para permitir que una clase contenga anotaciones.
- Clase *annotation*: es un indicador de texto que proveen sobre información extra para generar el modelo lógico.

Access queries elements

- Clase *query*: tiene solo un elemento de la clase *from*, n elementos de la clase *attribute selection*, n elementos de la clase *inclusion* y tiene o no un único elemento de la clase *boolean expression*.
- Clase *from*: asocia una clase *query* con la clase *entity*; es la clase que permite referenciar un tipo de entidad.

- Clase *attribute selection*: accede a los atributos de la *entity* referenciada por la clase *from* o la clase *inclusion*.
- Clase *boolean expression*: expresa una expresión booleana para declarar alguna restricción.
- Clase *inclusion*: permite acceder en una *query* a los atributos de otros tipos de entidad.

La figura 2.3 es una instancia del modelo conceptual GDM en su notación textual en la que se nota que, por ejemplo, en la tercera consulta se accede a los elementos de la entidad *category* a través del elemento ref de la entidad *product*.

```
// Entities
entity Product {
  id productId
  text name
  text description
  number price
  ref Category[*]
    categories
  ref Provider[1]
    provider
}

entity Category {
  id categoryId
  text name
  text description
}

entity Provider {
  id providerId
  text name
}

// Queries
query Q1_productsById:
  select prod.productId,
         prod.name, prod.price,
         prod.description
  from Product as prod
  where prod.productId = "?"

query Q2_productsAndCategoryByName:
  select prod.name, prod.price,
         prod.description,
         cat.name
  from Product as prod
  including prod.categories as cat
  where prod.name = "?"

query Q3_productsByCategory:
  select prod.name, prod.price,
         prod.description,
         cat.name
  from Product as prod
  including prod.categories as cat
  where cat.name = "?"
  order by prod.price
```

Figura 2.3: Notación textual del GDM

Mortadelo: modelo lógico orientado a documentos

De acuerdo con de la Vega[8], las bases de datos orientadas a documentos tienen como objetivo almacenar jerarquías de objetos que son probables que se consultarán juntas.

Estas jerarquías de objetos se conocen como documentos y se agrupan en colecciones; asimismo, una colección almacena documentos de la misma entidad y por lo general un documento está compuesto de pares clave-valor y contiene otros documentos incrustados.

En la figura 2.4 se muestra el modelo lógico orientado a documentos de la herramienta Mortadelo y a continuación se explica cada clase que conforma el modelo.



Figura 2.4: Modelo lógico orientado a documentos de Mortadelo

- Clase *document data model*: está compuesta de n *collections*.
- Clase *collection*: tiene un nombre que la identifica y en una colección se almacenan documentos que, en general, comparten la misma estructura.
- Clase *document type*: define la estructura de los documentos a guardar con un conjunto de instancias de la clase *field*.
- Clase *field*: tiene instancias de las clases *primitive field* (atributos simples), *array field* (más instancias de la clase *field*) o *document type* (otras estructuras de documentos), permitiendo guardar elementos anidados.
- Clase *primitive field*: contiene un tipo primitivo de dato
- Clase *array field*: permite anidar más instancias de la clase *field*

Como se ha mostrado, Mortadelo es quizá la herramienta más completa de las estudiadas y Alfonso de la Vega expone en su *paper* no solo el modelado conceptual, lógico y físico de una base de datos NoSQL, sino también explica a detalle los algoritmos usados con casos de uso.

2.5. NoSE: Schema Design for NoSQL Applications

De acuerdo con Michael J. Mior[5], NoSE usa un modelo conceptual junto con el *workload* para describir cómo se accederán a los datos y así genera un modelo físico de una base de datos NoSQL orientado a columnas.

NoSE debe tener un modelo conceptual que describa la información que se almacenará, por ello NoSE espera este modelo conceptual en forma de un grafo de entidad.

Los grafos de entidad son un tipo restringido del modelo de entidad-relación; cada cuadro representa un tipo de entidad, tienen atributos en los que uno más

sirven como clave para identificarla, cada borde es una relación entre entidades y la cardinalidad asociada de la relación (uno a muchos, uno a uno o muchos a muchos).

Respecto al *workload*, se describe como un conjunto de consultas parametrizadas y declaraciones de “actualización”; cada consulta y actualización está asociada con un peso que indica su frecuencia relativa en la carga de trabajo.

2.6. Conclusiones

Como se ha podido ver en este capítulo, son pocas las herramientas para modelado conceptual NoSQL; de ellas, dos usan la propuesta de Chebotko para modelar conceptualmente bases de datos orientadas a columnas y las demás herramientas modelan bases de datos NoSQL con base en diferentes propuestas.

Asimismo, es de notar que ninguna herramienta permite la validación estructural del modelo conceptual que usan, ni tampoco generan el esquema del modelo relacional, porque no están enfocadas a modelar bases de datos relacionales y por la misma razón no producen los *scripts* de sentencias SQL del esquema relacional.

Para finalizar este capítulo, la tabla 2.1 muestra una comparación de las diferentes características de cada herramienta expuesta en este capítulo.

Herramienta	Creador	Objetivo	Licencia	Sistema Operativo	Fecha de publicación	Modelo			Patrones de Acceso	Metodología	Validación Estructural	Modelado Relacional	Esquema SQL
						Conceptual	Lógico	Físico					
KDM	Andrii Kashliev	comercial	privativa	Web	2015	entidad-relación	columnas	Cassandra	queries	query-driven	N/A	N/A	N/A
HacKolade	IntegrIT SA / NV	comercial	privativa	Windows, Mac, Linux	2016	entidad-relación	multiparadigma	Multiparadigma	sin especificar	sin especificar	N/A	N/A	N/A
NoSQL Workbench for Amazon DynamoDB	Amazon	comercial	privativa	Windows, Mac	2019	entidad-relación	columnas	MongoDB	queries	query-driven	N/A	N/A	N/A
Mortadelo	Alfonso de la Vega	investigación	libre	Web	2018	GDM	columnas documentos	Cassandra MongoDB	queries	query-driven	N/A	N/A	N/A
NoSE	Michael J. Mior	investigación	libre	Web	2016	grafos de entidades	documentos	MongoDB	workload	workload-driven	N/A	N/A	N/A
Propuesta de solución	TT 2019-B052	investigación	libre	Web	2020	entidad-relación	GDM	MongoDB	queries	query-driven	Sí	Sí	Sí

Tabla 2.1: Tabla comparativa de las herramientas estudiadas y la propuesta de solución.

Capítulo 3

Marco Teórico

Del estado del arte se puede concluir que el modelo entidad-relación es el modelo conceptual más usado para describir modelos de datos NoSQL; también es de notar que ninguna herramienta de las estudiadas ofrece validación estructural de los diagramas entidad-relación, obtención del esquema relacional o de las sentencias SQL.

En este apartado se muestran los diferentes conceptos con el que el lector debe estar relacionado para comprender la solución que se propone y el resto del capítulo está organizado de la siguiente manera: primero se muestran los modelos de datos para bases de datos, empezando con el modelo entidad-relación, donde se mostrará cómo interactúan entre sí sus elementos principales (entidades, atributos y relaciones) para representar conceptualmente una base de datos relacional; después se expondrá el modelo relacional y una descripción de su lenguaje de consultas SQL; también se mostrarán de forma concisa y breve los cuatro principales modelos de datos NoSQL, el de clave-valor, orientado columnas, orientado a documentos y orientado a grafos; después se explicará cada tecnología y el porqué ha sido elegida para la propuesta de solución; finalmente, se termina con las conclusiones del capítulo.

3.1. Modelos de datos para bases de datos

De acuerdo a la bibliografía de Elmasri [14], un modelo de datos es una colección de conceptos que describen una estructura de una base de datos.

Los modelos de datos de alto nivel o conceptuales ofrecen conceptos visuales simples que representan un modelo de datos, mientras que los modelos de datos de bajo nivel o físicos ofrecen conceptos que describen los detalles de cómo se implementa el almacenamiento de los datos en el sistema de la base de datos.

Los modelos de datos conceptuales utilizan conceptos como entidades, atributos y relaciones o, en el caso de ser bases de datos no relacionales, no hay un estándar definido para modelar conceptualmente este tipo de bases de datos.

Una entidad representa un objeto o concepto del mundo real, un atributo representa alguna propiedad que describe a una entidad y una relación es una asociación entre entidades.

A continuación se presentan varios de los modelos de datos existentes.

3.1.1. Modelo entidad-relación

De acuerdo a Elmasri [14], el modelo entidad-relación fue creado y formalizado por Peter Chen en 1976[15] y se utiliza con frecuencia para el diseño conceptual de las aplicaciones de base de datos.

En esta sección se describen los conceptos básicos y las restricciones del modelo ER.

3.1.1.1. Entidades

El objeto básico representado por el modelo ER es una entidad, que es una cosa del mundo real con una existencia independiente.

Una entidad es ser un objeto con una existencia física (por ejemplo, una persona en particular, un coche, una casa o un empleado) o un objeto con una existencia conceptual (por ejemplo, una empresa, un trabajo o un curso universitario).

Tipo de entidad

Un tipo de entidad define una colección (o conjunto) de entidades que tienen los mismos atributos.

La colección de todas las entidades de un tipo de entidad en particular de la base de datos se denomina conjunto de entidades; se usa el mismo nombre del tipo de entidad para hacer referencia al conjunto de entidades.

Tipos de entidades débiles

Los tipos de entidad que no tienen atributos clave propios se denominan tipos de entidad débiles. En contraposición, los tipos de entidad regulares que tienen un atributo clave se denominan tipos de entidad fuertes.

Las entidades que pertenecen a un tipo de entidad débil, se identifican como relacionadas con entidades específicas de otro tipo de entidad (llamada entidad identificado o propietario) en combinación con uno de sus valores de atributo.

Este tipo de relación que relaciona un tipo de entidad débil con su propietario se puede llamar relación identificativa del tipo de entidad débil.

Un tipo de entidad débil siempre tiene una restricción de participación total (dependencia de existencia) respecto a su relación identificativa, porque una entidad débil no se identifica sin una entidad propietaria. No obstante, no toda dependencia de existencia produce un tipo de entidad débil.

Un tipo de entidad débil normalmente tiene una clave parcial, que es el conjunto de atributos que identifican sin lugar a dudas las entidades débiles que están relacionadas con la misma entidad propietaria.

En los diagramas ER, tanto el tipo de la entidad débil como la relación identificativa, se distinguen rodeando sus cuadros y rombos mediante unas líneas dobles.

El atributo de clave parcial aparece subrayado con una línea discontinua o punteada. Los tipos de entidades débiles se representan a veces como atributos complejos (compuestos, multivalor).

En general, se define cualquier cantidad de niveles de tipos de entidad débil; un tipo de entidad propietaria puede ser ella misma un tipo de entidad débil.

Además, un tipo de entidad débil tiene más de un tipo de entidad identificativa de ser necesario y un tipo de relación identificativa de grado superior a dos.

3.1.1.2. Atributos

Cada entidad tiene atributos, que son propiedades particulares que la describen y en el modelo ER hay varios tipos: simple frente a compuesto, monovalor frente a multivalor, almacenado frente a derivado y nulo.

Atributos compuestos frente a atributos simples Los atributos compuestos se dividen en subpartes más pequeñas que representan atributos más básicos con significados independientes.

Los atributos que no son divisibles se denominan atributos simples o atómicos, mientras que los atributos compuestos forman una jerarquía.

El valor de un atributo compuesto es la concatenación de los valores de sus atributos simples.

Atributos monovalor y multivalor La mayoría de los atributos tienen un solo valor para una entidad en particular; dichos atributos reciben el nombre de monovalor o de un solo valor.

En algunos casos, un atributo tiene un conjunto de valores para la misma entidad y se denominan multivalor.

Un atributo multivalor tiene límites superior e inferior para restringir el número de valores permitidos para cada entidad individual.

Atributos almacenados y derivados El atributo derivado se calcula u obtiene a partir de otro atributo, que se denomina almacenado.

Atributos complejos Los atributos complejos son los atributos compuestos y multivalor que se anidan arbitrariamente.

Se puede representar el anidamiento arbitrario agrupando componentes de un atributo compuesto entre paréntesis () separando los componentes con comas y mostrando los atributos multivalor entre llaves {}.

Por ejemplo, si una persona tiene más de una residencia y cada residencia una sola dirección y varios teléfonos, el atributo TlfDir de una persona se especifica como:

$\{\text{TlfDir}(\{\text{Tlf}(\text{CodÁrea}, \text{NumTlf})\},$
 $\text{Dir}(\text{DirCalle}(\text{Número}, \text{Calle}, \text{NumApto}),$
 $\text{Ciudad}, \text{Provincia}, \text{CP}))\}$

Los atributos Tlf y Dir son compuestos.

Atributos clave de un tipo de entidad Una restricción importante de las entidades de un tipo de entidad es la clave o restricción de unicidad de los atributos.

Un tipo de entidad normalmente tiene un atributo cuyos valores son distintos para cada entidad del conjunto de entidades.

Los valores de un atributo en que se utilicen para identificar cada entidad inequívocamente se denomina atributo clave.

En la notación diagramática ER cada atributo clave tiene su nombre subrayado dentro del óvalo y algunos tipos de entidad tienen más de un atributo clave.

Un tipo de entidad que carece de clave se le denomina tipo de entidad débil (que se explicará más adelante).

Conjuntos de valores (dominios) de atributos Cada atributo simple de un tipo de entidad está asociado con un conjunto de valor (o dominio de valores) que especifica el conjunto de los valores que se asignen a ese atributo por cada entidad individual.

Los conjuntos de valores no se muestran en los diagramas ER; normalmente se especifican mediante los tipos de datos básicos disponibles en la mayoría de los lenguajes de programación, como entero, cadena, booleano, flotante, tipo enumerado, subrango, etcétera.

También se emplean otros tipos de datos adicionales para representar la fecha, la hora y otros.

Atributos de los tipos de relación Los tipos de relación también pueden tener atributos; los atributos de los tipos de relación 1:1 o 1:N se trasladan a uno de los tipos de entidad participantes.

En el caso de un tipo de relación 1:N, un atributo de relación solo se migra al tipo de entidad que se encuentra en el lado N de la relación.

Para los tipos de relación M:N, algunos atributos se determinan mediante la combinación de entidades participantes en una instancia de relación, no mediante una sola relación. Dichos atributos deben especificarse como atributos de relación.

3.1.1.3. Relaciones

Un tipo de relación R entre n tipos de entidades E_1, E_2, \dots, E_n define un conjunto de asociaciones (o un conjunto de relaciones) entre las entidades de esos tipos de entidades.

Como en el caso de los tipos de entidades y los conjuntos de entidades, normalmente se hace referencia a un tipo de relación y su correspondiente conjunto de relaciones con el mismo nombre R .

Matemáticamente, el conjunto de relaciones R es un conjunto de instancias de relación r_i , donde cada r_i asocia n entidades individuales (e_1, e_2, \dots, e_n) y cada entidad e_j de r_i es un miembro del tipo de entidad E_j , $1 \leq j \leq n$. Por tanto, un tipo de relación es una relación matemática en E_1, E_2, \dots, E_n .

De forma alternativa, se define como un subconjunto del producto cartesiano $E_1 \times E_2 \times \dots \times E_n$. Se dice que cada uno de los tipos de entidad E_1, E_2, \dots, E_n participa en el tipo de relación R ; de forma parecida, cada una de las entidades individuales e_1, e_2, \dots, e_n se dice que participa en la instancia de relación $r_i = (e_1, e_2, \dots, e_n)$.

En los diagramas ER, los tipos de relaciones se muestran mediante rombos, conectados a su vez mediante líneas a los rectángulos que representan los tipos de entidad participantes y el nombre de la relación se muestra dentro del rombo.

Grado de relación, nombres de rol y relaciones recursivas

Grado de un tipo de relación El grado de un tipo de relación es el número de tipos de entidades participantes. Un tipo de relación de grado dos se denomina binario y uno de grado tres ternario. Las relaciones son de cualquier grado, pero las más comunes son las relaciones binarias.

Nombres de rol y relaciones recursivas Cada tipo de entidad que participa en un tipo de relación juega un papel o rol particular en la relación.

El nombre de rol hace referencia al papel que una entidad participante del tipo de entidad juega en cada instancia de relación y ayuda a explicar el significado de la relación.

Los nombres de rol no son técnicamente necesarios en los tipos de relación donde todos los tipos de entidad participantes son distintos, puesto que cada nombre de tipo de entidad participante se utiliza como participación.

Cuando un tipo de entidad se relaciona consigo misma, se tiene una relación recursiva y es necesario indicar los roles que juegan los miembros en la relación.

Restricciones en los tipos de relaciones Los tipos de relaciones normalmente tienen ciertas restricciones que limitan las posibles combinaciones entre las entidades que participan en el conjunto de relaciones correspondiente.

Estas restricciones están determinadas por la situación del minimundo representado por las relaciones.

Se distinguen dos tipos principales de restricciones de relación: razón de cardinalidad y participación.

Razones de cardinalidad para las relaciones binarias La razón de cardinalidad de una relación binaria especifica el número máximo de instancias de relación en las que una entidad participa.

Las posibles razones de cardinalidad para los tipos de relación binaria son 1:1, 1:N, N:1 y M:N.

1. Uno a uno: una relación R de X a Y es uno a uno si cada entidad en X se asocia con cuando mucho una entidad en Y e, inversamente, cada entidad en Y se asocia con cuando mucho una entidad en X .
2. Uno a muchos: una relación R de X a Y es uno a muchos si cada entidad en X se asocia con muchas entidades en Y , pero cada entidad en Y se asocia con cuando mucho una entidad en X .
3. Muchos a uno: una relación R de X a Y es muchos a uno si cada entidad en X se asocia con cuando mucho una entidad en Y , pero cada entidad en Y se asocia con muchas entidades en X .
4. Muchos a muchos: una relación R de X a Y es muchos a muchos si cada entidad en X se asocia con muchas entidades en Y y cada entidad en Y se asocia con muchas entidades en X .

Restricciones de participación y dependencias de existencia La restricción de participación especifica si la existencia de una entidad depende de si está relacionada con otra entidad a través de un tipo de relación.

Esta restricción especifica el número mínimo de instancias de relación en las que participa cada entidad y en ocasiones recibe el nombre de restricción de cardinalidad mínima.

Hay dos tipos de restricciones de participación, total y parcial; la participación total también se conoce como dependencia de existencia.

1. Participación total: si todo miembro de un conjunto de entidades debe participar en una relación, es una participación total del conjunto de entidades en la relación. Esto se denota al dibujar una línea doble desde el rectángulo de entidades hasta el rombo de relación.
2. Participación parcial: una línea sencilla indica que algunos miembros del conjunto de entidades no deben participar en la relación.

La razón de cardinalidad y las restricciones de participación, en conjunto, son restricciones estructurales de un tipo de relación.

3.1.1.4. Resumen de la notación para los diagramas ER

La tabla 3.1 es un resumen de la simbología usada en los diagramas entidad-relación en la que se muestra en la primera columna la representación gráfica y a su lado su significado en el modelo.


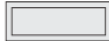






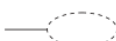



Notación del modelo entidad-relación	
Símbolo	Significado
	Entidad
	Entidad débil
	Relación
	Relación de identificación
	Atributo
	Atributo clave
	Atributo multivalor
	Atributo compuesto
	Atributo derivado
	Participación total
	Razón de cardinalidad
	Restricción estructural

Tabla 3.1: Notación del modelo entidad-relación

3.1.2. Modelo relacional

De acuerdo a la bibliografía de Elmasri[14], el modelo relacional introducido por Ted Codd en 1970[2] utiliza el concepto de una relación matemática como bloque de construcción básico y tiene su base teórica en la teoría de conjuntos y la lógica del predicado.

La lógica de predicado, utilizada ampliamente en matemáticas, proporciona un marco en el que una afirmación (declaración de hecho) se verifica como verdadera o falsa.

La teoría de conjuntos es una ciencia matemática que trata con conjuntos o grupos de cosas y se utiliza como base para la manipulación de datos en el modelo relacional.

El modelo relacional representa la base de datos como una colección de relaciones. Cuando una relación está pensada como una tabla de valores, cada fila representa una colección de valores relacionados.

Asimismo, cada fila de la tabla representa un hecho que, por lo general, corresponde con una relación o entidad real. El nombre de la tabla y de las columnas se

utiliza para ayudar a interpretar el significado de cada uno de los valores de las filas.

En terminología formal, una fila recibe el nombre de tupla, una cabecera de columna es un atributo y el nombre de la tabla una relación. El tipo de dato que describe los valores en cada columna está representado por un dominio de posibles valores.

Basado en estos conceptos, el modelo relacional tiene tres componentes bien definidos:

1. Una estructura de datos lógica representada por relaciones.
2. Un conjunto de reglas de integridad para garantizar que los datos sean consistentes.
3. Un conjunto de operaciones que define cómo se manipulan los datos.

3.1.2.1. Relaciones

Estructuras de datos relacionales Su usan tablas con relación entre ellas.

Tablas En este modelo, las tablas se usan para contener información acerca de los objetos a representar en la base de datos. Al usar los términos del modelo entidad-relación, los conjuntos de entidades y de relaciones se muestran usando tablas.

Una relación o esquema de relación se representa como una tabla bidimensional en la que las filas de la tabla corresponden a registros individuales y las columnas corresponden a atributos.

Formalmente, un esquema de relación R , denotado por $R(A_1, A_2, \dots, A_n)$ está constituido por un nombre de relación R y una lista de atributos A_1, A_2, \dots, A_n .

Cada atributo A_i es el nombre de un papel jugado por algún dominio D en el esquema de relación R . Se dice que D es el dominio de A_i y se especifica como $dom(A_i)$.

Un esquema de relación se utiliza para describir una relación; se dice que R es el nombre de la misma. El grado de una relación es el número de atributos n de la misma.

La figura 3.1 muestra de manera visual el modelo relacional; una tabla en el modelo relacional está compuesto de atributos, tiene un nombre de relación y tiene n tuplas.

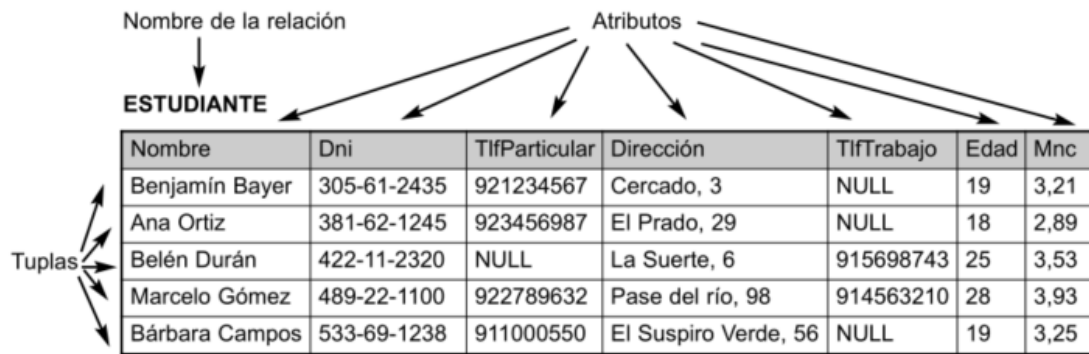


Figura 3.1: Tabla en el modelo relacional

Cada fila de la tabla corresponde a un registro individual o instancia de entidad. En el modelo relacional cada fila se llama tupla y la tabla que representa una relación tiene las siguientes características:

- Cada celda de la tabla contiene solo un valor.
- Cada columna tiene un nombre distinto, que es el nombre del atributo que representa.
- Todos los valores en una columna provienen del mismo dominio, pues todos son valores del atributo correspondiente.
- Cada tupla o fila es distinta; no hay tuplas duplicadas.
- El orden de las tuplas o filas es irrelevante.

Relaciones y tablas de bases de datos Una relación (o estado de relación) r del esquema $R(A_1, A_2, \dots, A_n)$, también especificado como $r(R)$, es un conjunto de n -tuplas $r = t_1, t_2, \dots, t_m$.

Cada tupla t es una lista ordenada de n valores $t = \langle v_1, v_2, \dots, v_n \rangle$, donde v_i , $1 \leq i \leq n$, es un elemento de $dom(A_i)$ o un valor especial NULL.

El i -ésimo valor de la tupla t , que se corresponde con el atributo A_i , se referencia como $t[A_i]$ o $t[i]$ si se utiliza una notación posicional.

3.1.2.2. Claves

En el modelo relacional, las claves son importantes porque aseguran que cada fila en una tabla sea unívocamente identificable.

También son usadas para establecer relaciones entre tablas y asegurar la integridad de los datos.

Una clave es un atributo o grupo de atributos que identifican los valores de otros atributos.

Clave compuesta Una clave compuesta es una clave que se compone de más de un atributo. Un atributo que forma parte de una clave se denomina atributo clave.

Superclave Un atributo o atributos que identifican de manera única cualquier fila de una tabla.

3.1.2.3. Restricciones de integridad

Integridad de dominio La integridad de dominio es la validez de las restricciones que debe cumplir una determinada columna de la tabla.

Integridad de entidad Todas las claves principales son únicas, y ninguna clave primaria debe ser nula.

Integridad referencial Una clave externa es ser nula siempre que no sea parte de la clave principal de su tabla, o tiene el valor que coincida con el valor de la clave primaria en una tabla con la que está relacionada (cada valor de clave externa no nula debe hacer referencia a un valor de clave primaria existente).

3.1.2.4. Propiedades de las relaciones

Grado El número de columnas en una tabla se llama grado de la relación. Una relación con una sola columna es de grado uno y se llama relación unaria. Una relación con dos columnas se llama binaria, una con tres columnas se llama ternaria y, después de ella, por lo general se usa el término n-aria. El grado de una relación es parte de la intensión de la relación y nunca cambia.

Cardinalidad La cardinalidad de una relación es el número de entidades a las que otra entidad mapea dicha relación.

3.1.2.5. ACID

El modelo relacional en las transacciones cumple con las propiedades de ACID, que es el acrónimo de *Atomicity* (atomicidad), *Consistency* (consistencia), *Isolation* (aislamiento) y *Durability* (durabilidad).

Atomicidad Requiere que se completen todas las operaciones (solicitudes SQL) de una transacción; si no, la transacción se cancela.

Si una transacción T_1 tiene cuatro solicitudes SQL, las cuatro solicitudes deben completarse con éxito; de lo contrario, se anula toda la transacción.

En otras palabras, una transacción se trata como una unidad de trabajo única, indivisible y lógica.

Consistencia Indica la permanencia del estado consistente de la base de datos. Una transacción lleva una base de datos de un estado consistente a otro.

Cuando se completa una transacción, la base de datos debe estar en un estado coherente. Si alguna de las partes de la transacción viola una restricción de integridad, se anula la transacción completa.

Aislamiento Significa que los datos utilizados durante la ejecución de una transacción no es utilizada por una segunda transacción hasta que se complete la primera.

En otras palabras, si la transacción T_1 se está ejecutando y está utilizando el elemento de datos X , ninguna otra transacción accede a ese elemento de datos ($T_2...T_n$) hasta que finalice T_1 .

Esta propiedad es particularmente útil en entornos de bases de datos multiusuario porque varios usuarios acceden y actualizan la base de datos al mismo tiempo.

Durabilidad Garantiza que una vez que se realizan y confirman los cambios en la transacción, no se deshacen ni pierden, incluso en el caso de una falla del sistema.

3.1.2.6. Structured Query Language

Structured Query Language o SQL está basado en el álgebra relacional, en el cálculo relacional y es un lenguaje de manipulación de datos, un lenguaje de definición de datos, un lenguaje de control de transacciones y un lenguaje de control de datos.

Lenguaje de manipulación de datos (DML) Un *Data Manipulation Language* o DML incluye comandos para insertar, actualizar, eliminar y recuperar datos dentro de las tablas de la base de datos.

Lenguaje de definición de datos (DDL) Un *Data Definition Language* o DDL incluye comandos para crear objetos de base de datos como tablas, índices y vistas, así como comandos para definir accesos a objetos de la base de datos.

Lenguaje de control de transacciones (TCL) Los comandos de un *Transaction Control Language* o TCL se ejecutan dentro del contexto de una transacción, que es una unidad lógica de trabajo compuesta por una o más instrucciones SQL.

SQL proporciona comandos para controlar el procesamiento de estas transacciones atómicas.

Lenguaje de control de datos (DCL) Los comandos de un *Data Control Language* o DCL se utilizan para controlar el acceso a los objetos de datos, como otorgar a un usuario permiso para ver solo una tabla y otorgar a otro usuario permiso para cambiar los datos de la misma tabla.

3.1.3. Modelos NoSQL

De acuerdo a la bibliografía de Catherine [16], el término NoSQL significa *not only SQL* y se usa para agrupar sistemas de bases de datos diferentes a los relacionales.

Por los nuevos requerimientos en la época actual como disponibilidad total, tolerancia a fallos, almacenamiento de penta bytes de información distribuida en miles de servidores, la necesidad de nodos con escalabilidad horizontal, entre otros, surge la necesidad de sistemas de bases de datos no relacionales.

Estos tipos de sistemas no requieren esquemas fijos, son fáciles y rápidos en la instalación, usan lenguajes no declarativos, ofrecen alto rendimiento y disponibilidad, evitan operaciones de juntas, soportan paralelismo y escalan principalmente en forma horizontal soportando estructuras distribuidas que no necesariamente cumplen las propiedades ACID[16], sino que se enfocan en el modelo de consistencia de datos BASE.

3.1.3.1. Teorema CAP

En el Simposio de Principios de Computación Distribuida (PODC, en inglés) en el año 2000[17], el Dr. Eric Brewer declaró en su presentación que “en cualquier sistema de datos altamente distribuido hay tres propiedades comúnmente deseables: *Consistency* (consistencia), *Availability* (disponibilidad) y *Partition tolerance* (tolerancia al particionado). Sin embargo, es imposible que un sistema proporcione las tres propiedades al mismo tiempo”.

El acrónimo CAP representa las tres propiedades deseables:

Consistencia En una base de datos distribuida, la consistencia tiene el papel más importante. Todos los nodos deben ver los mismos datos al mismo tiempo, lo que significa que las réplicas deben actualizarse inmediatamente. Sin embargo, esto implica lidiar con la latencia y los atrasos de la red.

No hay que confundir la consistencia en la gestión de transacciones con la consistencia del teorema CAP. La consistencia de la gestión de transacciones se refiere al resultado cuando la ejecución de una transacción en una base de datos cumple con todas las restricciones de integridad.

La consistencia en CAP se basa en la suposición de que todas las transacciones tienen lugar al mismo tiempo en todos los nodos, como si se estuvieran ejecutando en una base de datos de un solo nodo (todos los nodos ven los mismos datos al mismo tiempo).

Disponibilidad En términos simples, el sistema siempre cumple una solicitud. Ninguna solicitud recibida se pierde y este es un requisito fundamental para todas las organizaciones centradas en la web.

Tolerancia al particionado El sistema continúa funcionando incluso en caso de falla de un nodo. Esto es equivalente a la transparencia de fallas en bases de datos distribuidas. El sistema fallará solo si fallan todos los nodos.

Aunque el teorema CAP se centra en sistemas basados en la web altamente distribuidos, sus implicaciones están muy extendidas para todos los sistemas distribuidos, incluidas las bases de datos.

En los sistemas de bases de datos, las propiedades ACID aseguran que todas las transacciones exitosas den como resultado un estado de base de datos consistente, uno en el que todas las operaciones de datos siempre devuelven los mismos resultados.

Para bases de datos distribuidas centralizadas y pequeñas, la latencia no es un problema, pero para una base de datos altamente distribuida el garantizar transacciones ACID sin pagar un alto precio en latencia de red o en conflictos de datos.

La relación entre consistencia y disponibilidad ha generado un nuevo tipo de sistemas de datos distribuidos, diferente al ACID, denominados BASE, *Basically Available* (básicamente disponibles), *Soft state* (estado suave), *Eventually consistent* (eventualmente consistente).

BASE BASE se refiere a un modelo de consistencia de datos en el que los cambios de datos no son inmediatos, sino que se propagan lentamente a través del sistema hasta que todas las réplicas sean consistentes.

En la práctica, la aparición de bases de datos distribuidas NoSQL proporciona un espectro de consistencia que va desde lo altamente consistente (ACID) hasta lo eventualmente consistente (BASE).

3.1.3.2. Clave-Valor

De acuerdo con Coronel[18], una base de datos de clave-valor es un paradigma de modelo de datos diseñado para almacenar, recuperar y administrar arreglos asociativos.

Comúnmente se usa un diccionario o tabla *hash* que contiene una colección de registros anidados, secuencias de bits que se almacenan y se recuperan utilizando una clave que identifica de manera única el registro y se utiliza para encontrar rápidamente los datos dentro de la base de datos.

No obstante, es responsabilidad de las aplicaciones que hagan uso de este tipo de base de datos interpretar el significado de los datos; no hay claves foráneas y las relaciones no son rastreables entre claves, lo que permite que el DBMS sea rápido y escalable.

Los pares de clave-valor generalmente se organizan en *buckets*. Todas las claves dentro un *bucket* deben ser únicas, pero está permitido que se repitan en otros *buckets* y todas las operaciones se basan en el *bucket* + la clave.

La figura 3.2 es una representación visual de un *bucket* usado en las bases de datos NoSQL de clave-valor.

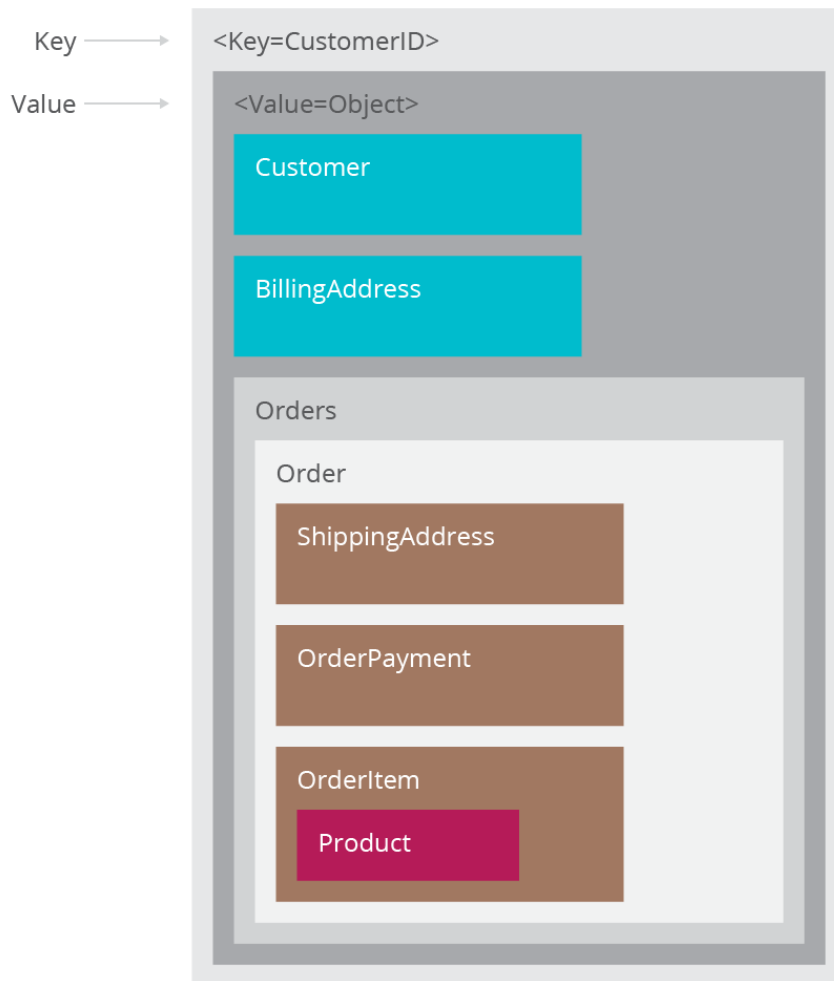


Figura 3.2: *Bucket* en el almacenamiento clave-valor

Respecto a las operaciones de este tipo de bases de datos, se usan las operaciones de *get*, *store* y *delete*; la operación *get* o *fetch* es usada para obtener el valor de un par; el operador de *store* almacena datos en una clave.

Si la combinación de *bucket* + clave no existe, se añade como un nuevo par de clave-valor. En cambio, en caso de existir la combinación de *bucket* + clave, el valor es reemplazado por el nuevo y el operador de *delete* es para eliminar un par de clave-valor.

De acuerdo con Sadalge[19], algunas de las bases de datos de clave-valor populares son Riak, Redis, Memcached DB, Berkeley DB, HamsterDB, Amazon DynamoDB y Project Voldemort (una implementación de código abierto de Amazon DynamoDB).

3.1.3.3. Orientado a documentos

Una base de datos orientada a documentos es una base de datos NoSQL que almacena datos en documentos etiquetados en pares clave-valor.

A diferencia de una base de datos clave-valor donde el componente de valor contiene cualquier tipo de datos, una base de datos de documentos siempre alma-

cena un documento en el componente de valor y puede estar en cualquier formato codificado, como XML, JSON o BSON.

La figura 3.3 es la representación visual de un *bucket*, donde tiene una clave como identificador único y documentos anidados.

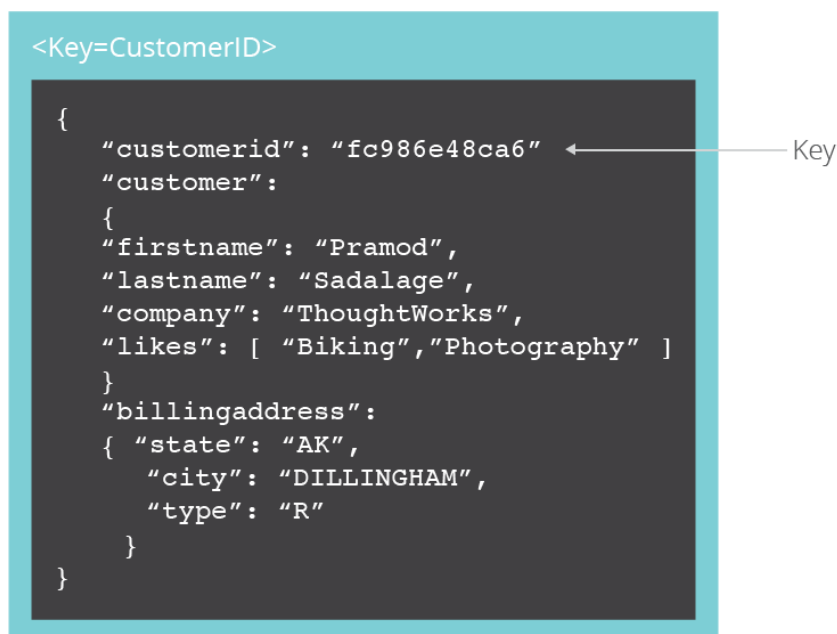


Figura 3.3: Documento en el almacenamiento de documentos

Otra diferencia importante es que si bien las bases de datos clave-valor no intentan comprender el contenido del componente de valor, las bases de datos de documentos sí lo hacen.

Por ejemplo, hay documentos con etiquetas para identificar qué texto en el documento representa el título, el autor y el cuerpo del documento.

Dentro del cuerpo del documento, existen etiquetas adicionales para indicar capítulos y secciones. A pesar del uso de etiquetas en los documentos, las bases de datos de documentos se consideran sin esquema, es decir, no imponen una estructura predefinida en los datos almacenados.

Para una base de datos de documentos, no tener esquemas significa que aunque todos los documentos tienen etiquetas, no todos tienen las mismas etiquetas, por lo que es posible que cada documento tenga su propia estructura.

Las etiquetas en una base de datos de documentos son extremadamente importantes porque son la base de la mayoría de las capacidades adicionales que tienen las bases de datos de documentos sobre las bases de datos clave-valor.

Las etiquetas dentro del documento son accesibles para el DBMS, lo que hace posible consultas complejas. Al igual que las bases de datos clave-valor agrupan pares clave-valor en grupos lógicos llamados *buckets*, las bases de datos de documentos agrupan documentos en grupos lógicos llamados colecciones.

Si bien es posible recuperar un documento especificando la colección y la clave, también es posible realizar consultas en función del contenido de las etiquetas.

Las bases de datos de documentos tienden a funcionar bajo el supuesto de que un documento es independiente, o sea que no está en diferentes tablas como en una base de datos relacional.

Una base de datos de documentos asume que todos los datos relacionados de una orden estén en un solo documento; por lo tanto, cada orden en una colección contendría datos sobre el cliente, el pedido en sí y los productos comprados en esa orden.

Las bases de datos de documentos no almacenan relaciones como se hace en el modelo relacional y generalmente no tienen soporte para operaciones como la unión.

3.1.3.4. Orientado a columnas

Este modelo de base de datos se originó con el BigTable de Google. Otras bases de datos orientados a columnas incluyen HBase, Hypertable y Cassandra.

Cassandra comenzó como un proyecto en Facebook, pero Facebook lo lanzó a la comunidad de código abierto, que ha seguido desarrollando a Cassandra en una de las bases de datos orientadas a columnas más populares.

Afortunadamente, las bases de datos de la familia de columnas son conceptualmente simples y conceptualmente lo suficientemente cercanas al modelo relacional para que su comprensión del modelo relacional pueda ayudarlo a comprender el modelo familiar de columnas.

El término base de datos orientada a columnas puede referirse a dos conjuntos diferentes de tecnologías que a menudo se confunden entre sí.

En cierto sentido, el término de base de datos orientada a columnas puede usarse para tecnologías de bases de datos relacionales tradicionales que usan almacenamiento enfocado en columnas en lugar de almacenamiento en filas.

Por otro lado, en un sistema de base de datos NoSQL describe un tipo de base de datos que organiza datos en pares nombre-valor donde el nombre actúa también como la clave.

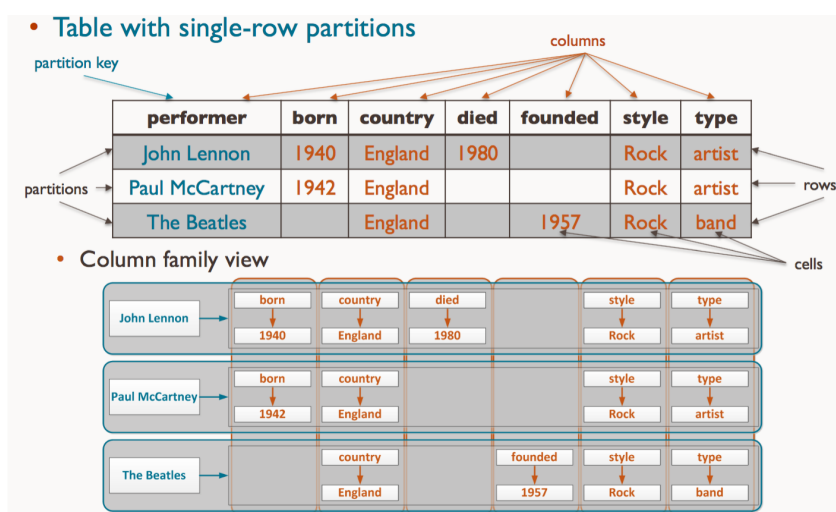


Figura 3.4: Familia de columnas

Cada par de clave-valor representa una columna y siempre contiene una fecha que sirve para resolver conflictos de escritura, datos expirados entre otras cosas.

Al ser una bases de datos NoSQL, no requiere que los datos se ajusten a estructuras predefinidas ni admite SQL para consultas.

3.1.3.5. Orientado a grafos

Una base de datos de grafos es una base de datos NoSQL basada en la teoría de grafos para almacenar datos sobre entornos ricos en relaciones.

La teoría de grafos es un campo matemático y de ciencias de la computación que modela relaciones, o aristas, entre objetos llamados nodos.

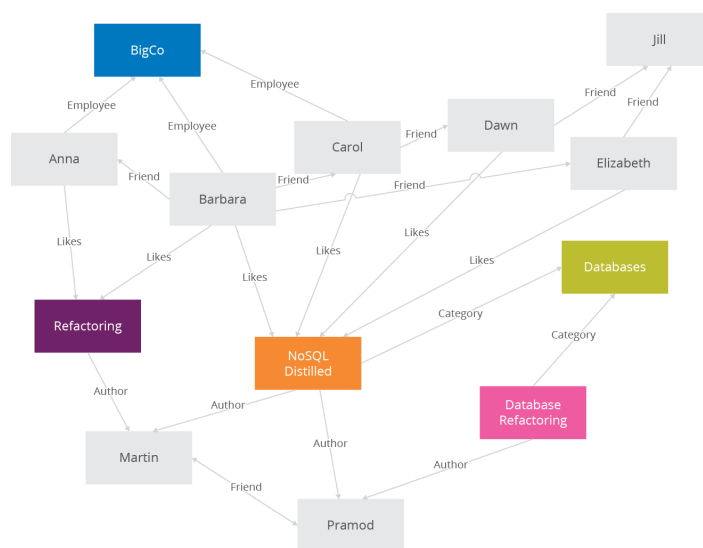


Figura 3.5: modelo conceptual orientado a grafos

Modelar y almacenar datos sobre relaciones es el enfoque de las bases de datos de grafos y la teoría en la que se basa es un campo de estudio bien establecido que se remonta a cientos de años.

Como resultado, la creación de un modelo de base de datos basado en la teoría de grafos proporciona de inmediato una fuente rica de algoritmos y aplicaciones que han ayudado a las bases de datos de grafos a ganar terreno.

Los componentes principales de las bases de datos de grafos son nodos, aristas y propiedades, como se muestra en la figura 3.5. Un nodo corresponde a la idea de una instancia de entidad relacional.

El nodo es una instancia específica de algo sobre lo que queremos mantener datos. Cada nodo (círculo) en la figura 3.5 representa un solo agente.

Las propiedades son como atributos; son los datos que necesitamos almacenar sobre el nodo. Todos los nodos de agente pueden tener propiedades como nombre y apellido, pero no todos los nodos deben tener las mismas propiedades.

Un borde es una relación entre nodos. Los bordes (mostrados como flechas en la figura 3.5) pueden estar en una dirección, o pueden ser bidireccionales.

Para las consultas, la terminología correcta sería atravesar el grafo. Las bases de datos de grafos los recorridos se enfocan en las relaciones entre nodos, como la ruta más corta y el grado de conexión.

La base de datos de grafos comparte algunas características con otras bases de datos NoSQL en que las bases de datos de grafos no obligan a los datos a ajustarse a estructuras predefinidas, no admiten SQL y están optimizados para proporcionar velocidad de procesamiento, al menos para datos intensivos en relaciones.

Sin embargo, otras características clave no se aplican a las bases de datos de grafos. Las bases de datos de grafos no se escalan muy bien a los clústeres debido a las diferencias en los datos agregados.

3.2. Tecnologías a usar

Para seleccionar las tecnologías a usar para el desarrollo de la aplicación web, se ha optado por hacer un estudio y comparación de tecnologías similares.

Lo que resta de esta sección está organizado de la siguiente manera: primero se muestra cada tecnología a usar. En caso de que sea la única opción se describirá qué es la herramienta y en caso de que haya varias opciones, se explicará cada opción y se tendrá un apartado al final de cada comparación sobre la herramienta que se ha elegido.

Finalmente, en la subsección de conclusiones se pondrá un resumen de cada tecnología escogida y el porqué.

3.2.1. Hypertext Transfer Protocol

De acuerdo a la W3C[20], Hypertext Transfer Protocol, HTTP, o protocolo de transferencia de hipertexto, es el protocolo de comunicación que permite las transferencias de información en la World Wide Web.

HTTP fue desarrollado por el World Wide Web Consortium y la Internet Engineering Task Force, colaboración que culminó en 1999 con la publicación de una serie de RFC, siendo el más importante de ellos el RFC 2616 que especifica la versión 1.1. HTTP define la sintaxis y la semántica que utilizan los elementos de software de la arquitectura web (clientes, servidores, proxies) para comunicarse.

HTTP es un protocolo sin estado, es decir, no guarda ninguna información sobre conexiones anteriores. El desarrollo de aplicaciones web necesita frecuentemente mantener estado. Para esto se usan las cookies, que es información que un servidor puede almacenar en el sistema cliente.

Es un protocolo orientado a transacciones y sigue el esquema petición-respuesta entre un cliente y un servidor. Al cliente se le suele llamar “agente de usuario.” *user agent*, que realiza una petición enviando un mensaje con cierto formato al servidor. Al servidor se le suele llamar servidor web y envía un mensaje de respuesta.

Los mensajes HTTP son en texto plano lo que lo hace más legible y fácil de depurar. Esto tiene el inconveniente de hacer los mensajes más largos.

Los mensajes tienen la siguiente estructura:

1. Línea inicial (termina con retorno de carro y un salto de línea).
 - a) Para las peticiones: la acción requerida por el servidor (método de petición) seguido de la URL del recurso y la versión HTTP que soporta el cliente.
 - b) Para respuestas: La versión del HTTP usado seguido del código de respuesta (que indica que ha pasado con la petición seguido de la URL del recurso) y de la frase asociada a dicho retorno.
2. Las cabeceras del mensaje que terminan con una línea en blanco. Son metadatos. Estas cabeceras le dan gran flexibilidad al protocolo.
3. Cuerpo del mensaje: es opcional. Su presencia depende de la línea anterior del mensaje y del tipo de recurso al que hace referencia la URL. Típicamente tiene los datos que se intercambian cliente y servidor. Por ejemplo para una petición podría contener ciertos datos que se quieren enviar al servidor para que los procese. Para una respuesta podría incluir los datos que el cliente ha solicitado.

HTTP define una serie predefinida de métodos de petición que pueden utilizarse. El protocolo tiene flexibilidad para ir añadiendo nuevos métodos y para así añadir nuevas funcionalidades. El número de métodos de petición se ha ido aumentando según se avanzaba en las versiones.

Cada método indica la acción que desea que se efectúe sobre el recurso identificado. Lo que este recurso representa depende de la aplicación del servidor. Por ejemplo, el recurso puede corresponderse con un archivo que reside en el servidor.

1. GET: el método GET solicita una representación del recurso especificado. Las solicitudes que usan GET solo deben recuperar datos y no deben tener ningún otro efecto.
2. HEAD: pide una respuesta idéntica a la que correspondería a una petición GET, pero en la respuesta no se devuelve el cuerpo. Esto es útil para poder recuperar los metadatos de los encabezados de respuesta, sin tener que transportar todo el contenido.
3. POST: envía los datos para que sean procesados por el recurso identificado. Los datos se incluirán en el cuerpo de la petición. Esto puede resultar en la creación de un nuevo recurso o de las actualizaciones de los recursos existentes o ambas cosas.
4. PUT: sube, carga o realiza un upload de un recurso especificado (archivo o fichero) y es un camino más eficiente ya que POST utiliza un mensaje multiparte y el mensaje es decodificado por el servidor. En contraste, el método PUT permite escribir un archivo en una conexión socket establecida con el servidor. La desventaja del método PUT es que los servidores de alojamiento compartido no lo tienen habilitado.

3.2.2. HTML 5

De acuerdo a la documentación de Mozilla[21], HyperText Markup Language, abreviado HTML, o lenguaje de marcado de hipertextos, es la pieza más básica para la construcción de la web y se usa para definir el sentido y estructura del contenido en una página web.

Es un estándar a cargo del World Wide Web Consortium (W3C) o Consorcio WWW, organización dedicada a la estandarización de casi todas las tecnologías ligadas a la web.

HTML hace uso de enlaces que conectan las páginas web entre sí, ya sea dentro de un mismo sitio web o entre diferentes sitios web.

Un elemento HTML se separa de otro texto en un documento por medio de “etiquetas”, las cuales consisten en elementos rodeados por “<,>”.

Ejemplos de estas etiquetas son <head>, <title>, <body>, <header>, <p>, , , , y otros más.

HTML 5 (HyperText Markup Language, versión 5) es la quinta revisión importante del lenguaje básico de la World Wide Web, HTML.

HTML5 establece elementos y atributos que reflejan el uso típico de los sitios web modernos. Algunos de ellos son técnicamente similares a las etiquetas <div> y , pero tienen un significado semántico, como por ejemplo <nav> (bloque de navegación del sitio web) y <footer>.

Características:

1. Incorpora etiquetas: *canvas* 2D y 3D, audio, vídeo con codecs para mostrar los contenidos multimedia. Actualmente hay una lucha entre imponer codecs libres (WebM + VP8) o privados (H.264/MPEG-4 AVC).
2. Etiquetas para manejar grandes conjuntos de datos: Datagrid, Details, Menu y Command. Permiten generar tablas dinámicas que pueden filtrar, ordenar y ocultar contenido en cliente.
3. Mejoras en los formularios: Nuevos tipos de datos (*email*, *number*, *url*, *datetime*) y facilidades para validar el contenido sin JavaScript.
4. Visores: MathML (fórmulas matemáticas) y SVG (gráficos vectoriales); en general se deja abierto a poder interpretar otros lenguajes XML.
5. Drag & Drop: nueva funcionalidad para arrastrar objetos como imágenes.

Respecto a la compatibilidad con los navegadores, la mayoría de elementos de HTML5 son compatibles con Firefox 19, Chrome 25, Safari 6 y Opera 12 en adelante.

3.2.3. Style Sheet Language: CSS vs SASS

De acuerdo con Wikipedia[22], un *style sheet language* es un lenguaje que representa los estilos o elementos visuales de documentos estructurados.

CSS

De acuerdo a la documentación de la W3C[23], Cascading Style Sheets, CSS, o hojas de estilo en cascada, es un lenguaje de diseño gráfico para definir y crear la presentación de un documento estructurado escrito en un lenguaje de marcado.

CSS está diseñado principalmente para marcar la separación del contenido del documento y la presentación del mismo, con características como las capas o layouts, los colores y las fuentes.

La separación entre el contenido del documento y la presentación busca mejorar la accesibilidad, proveer más flexibilidad y control, permitir que varios documentos HTML compartan un mismo estilo usando una sola hoja de estilos separada en un archivo .css y reducir la complejidad y la repetición de código en la estructura del documento.

La especificación CSS describe un esquema prioritario para determinar qué reglas de estilo se aplican si más de una regla coincide para un elemento en particular. Estas reglas son aplicadas con un sistema llamado de cascada, de modo que las prioridades son calculadas y asignadas a las reglas, así que los resultados son predecibles.

La especificación CSS es mantenida por el World Wide Web Consortium (W3C). El MIME type text/css está registrado para su uso por CSS descrito en el RFC 23185. El W3C proporciona una herramienta de validación de CSS gratuita para los documentos CSS.

CSS se ha creado en varios niveles y perfiles. Cada nivel de CSS se construye sobre el anterior, generalmente añadiendo funciones al nivel previo.

Los perfiles son, generalmente, parte de uno o varios niveles de CSS definidos para un dispositivo o interfaz particular. Actualmente, pueden usarse perfiles para dispositivos móviles, impresoras o televisiones.

La última versión del estándar, CSS3.1, está dividida en varios documentos separados, llamados “módulos”.

Cada módulo añade nuevas funcionalidades a las definidas en CSS2, de manera que se preservan las anteriores para mantener la compatibilidad.

Los trabajos en el CSS3.1 comenzaron a la vez que se publicó la recomendación oficial de CSS2 y los primeros borradores de CSS3.1 fueron liberados en junio de 1999.

Debido a la modularización del CSS3.1, diferentes módulos pueden encontrarse en diferentes estados de su desarrollo, de forma que hay alrededor de cincuenta módulos publicados, tres de ellos se convirtieron en recomendaciones oficiales de la W3C en 2011: “Selectores”, “Espacios de nombres”, y “Color”.

Respecto al soporte de los navegadores web, cada navegador web usa un motor de renderizado para renderizar páginas web, y el soporte de CSS no es exactamente igual en ninguno de los motores de renderizado. Ya que los navegadores no aplican el CSS correctamente, muchas técnicas de programación han sido desarrolladas para ser aplicadas por un navegador específico (comúnmente conocida esta práctica como *CSS hacks* o *CSS filters*).

Además, CSS3 definen muchas queries, entre las cuales se provee la directiva `@supports` que permite a los desarrolladores especificar navegadores con soporte para alguna función en específico directamente en el CSS3.1.

Sass

De acuerdo a la documentación de Sass[24], Sass es un lenguaje de preprocesado que genera hojas de estilo en cascada (CSS) y consta de dos sintaxis.

Características

Variables Las variables comienzan con un signo de dólar y la asignación de valor se realiza con dos puntos.

SassScript permite 4 tipos de datos:

1. Números (incluyendo las unidades).
2. Strings (con comillas o sin ellas).
3. Colores (código, o nombre).
4. Booleanos.

Las variables pueden ser resultados o argumentos de varias funciones disponibles. Durante el proceso de traducción, los valores de las variables son insertados en el documento CSS de salida.

Anidamiento CSS soporta anidamiento lógico, pero los bloques de código no son anidados. Sass permite que el código anidado sea insertado dentro de cualquier otro bloque.

Mixins Como CSS no soporta *mixins*, cualquier código duplicado debe ser repetido en cada lugar. Un *mixin* en Sass es una sección de código que contiene código Sass.

Cada vez que se llama un *mixin* en el proceso de conversión el contenido del mismo es insertado en el lugar de la llamada. Los *mixins* permiten una solución limpia a las repeticiones de código, así como una forma fácil de alterar el mismo.

Elección

Tomando en cuenta la experiencia del equipo con CSS, además de que el proyecto no se enfocará en hacer muchas hojas de estilo para cada componente, página o vista de la aplicación web, se usará CSS en lugar de Sass.

3.2.4. Web Frameworks

De acuerdo con stack overflow[25], los web *frameworks* más populares están escritos en JavaScript/TypeScript, por ello se realizó una investigación del lenguaje más apto para el proyecto.

JavaScript

De acuerdo con la documentación de Mozilla[26], JavaScript es una marca registrada con licencia de Sun Microsystems (ahora Oracle) que se usa para describir la implementación del lenguaje de programación JavaScript.

Debido a problemas de registro de marcas en la Asociación Europea de Fabricantes de Computadoras, la versión estandarizada del lenguaje tiene el nombre de ECMAScript, sin embargo, en la práctica se conoce como lenguaje JavaScript.

Abreviado como JS, es un lenguaje ligero e interpretado, orientado a objetos, basado en prototipos, imperativo, débilmente tipado y dinámico; es usado en node.js, Apache CouchDB y Adobe Acrobat.

EL núcleo del lenguaje JavaScript está estandarizado por el Comité ECMA TC39 como un lenguaje llamado ECMAScript. La última versión de la especificación es ECMAScript 6.0.

El estándar ECMAScript define

1. Sintaxis: reglas de análisis, palabras clave, flujos de control, inicialización literal de objetos.
2. Mecanismos de control de errores: *throw*, *try/catch*, habilidad para crear tipos de Errores definidos por el usuario.
3. Tipos: *boolean*, *number*, *string*, *function*, *object*.
4. Objetos globales: en un navegador, los objetos globales son los objetos de la ventana, pero ECMAScript solo define API no específicas para navegadores, como *parseInt*, *parseFloat*, *decodeURI*, *encodeURI*.
5. Mecanismo de herencia basada en prototipos.
6. Objetos y funciones incorporadas.
7. Modo estricto.

La sintaxis básica es similar a Java y C++ con la intención de reducir el número de nuevos conceptos necesarios para aprender el lenguaje. Las construcciones del lenguaje, tales como sentencias *if*, bucles *for* y *while*, bloques *switch* y *try catch* funcionan de la misma manera que en estos lenguajes (o casi).

JavaScript puede funcionar como lenguaje procedimental y como lenguaje orientado a objetos. Los objetos se crean programáticamente añadiendo métodos y propiedades a lo que de otra forma serían objetos vacíos en tiempo de ejecución, en

contraposición a las definiciones sintácticas de clases comunes en los lenguajes compilados como C++ y Java. Una vez se ha construido un objeto, puede usarse como modelo (o prototipo) para crear objetos similares.

Las capacidades dinámicas de JavaScript incluyen construcción de objetos en tiempo de ejecución, listas variables de parámetros, variables que pueden contener funciones, creación de scripts dinámicos (mediante `eval`), introspección de objetos (mediante *for ... in*), y recuperación de código fuente (los programas de JavaScript pueden decompilar el cuerpo de funciones a su código fuente original).

Desde el 2012, todos los navegadores modernos soportan completamente ECMAScript 5.1. Los navegadores más antiguos soportan por lo menos ECMAScript 3.

El 17 de Julio de 2015, ECMA International publicó la sexta versión de ECMAScript, la cual es oficialmente llamada ECMAScript 2015 y fue inicialmente nombrada como ECMAScript 6 o ES6. Desde entonces, los estándares ECMAScript están en ciclos de lanzamiento anuales.

TypeScript

De acuerdo con TypeScript Publishing[27], TypeScript es por definición es JavaScript para el desarrollo de aplicaciones, siendo también un superconjunto del mismo.

TypeScript es un lenguaje compilado orientado a objetos. Fue diseñado por Anders Hejlsberg (diseñador de C#) en Microsoft. TypeScript es tanto un lenguaje como un conjunto de herramientas. TypeScript es un superconjunto de JavaScript que genera código JavaScript.

Características

- Compilación: cuenta con un transpilador para la verificación de errores si hay errores de compilación, cosa que no es posible con JavaScript.
- Típo estático fuerte: provee un sistema opcional de típo estático y de inferencia de tipos a través del TypeScript Language Service, lo que permite inferir el tipo de una variable declara sin tipo en función de su valor.
- Definiciones de tipo: permite la extensión del lenguaje con bibliotecas externas JavaScript.
- Programación orientada a objetos: admite conceptos como clases, interfaces, herencia, etc.

Elección

De acuerdo con el sitio stack overflow[28], JavaScript es el lenguaje más popular de 2019 y aunque TypeScript es de los lenguajes que tienen un mayor nivel de aceptación, se usará JavaScript no solo por ser el lenguaje más popular y, en

consecuencia, con más compatibilidad y material de ayuda, sino también porque el equipo está acostumbrado a este lenguaje y tiene experiencia con web *frameworks* escritos en JavaScript.

3.2.5. JavaScript Web Frameworks: Vue/Nuxt vs React vs Angular

De acuerdo con Wikipedia[29], un web *framework* es un conjunto de *software* que permite el desarrollo de una aplicación web y en el lenguaje JavaScript hay varias opciones, incluidas los más populares Vue, React y Angular.

React

De acuerdo con Wikipedia[30], React es una biblioteca Javascript de código abierto diseñada para crear interfaces de usuario con el objetivo de facilitar el desarrollo de *single page applications*.

Características

1. Virtual DOM: React usa un virtual DOM propio en lugar del navegador.
2. Props: son definidos como los atributos de configuración para dicho componente.
3. Estado de cada componente: lleva un registro de las propiedades y atributos del componente.
4. Ciclos de vida: son la serie de estados por los cuales pasan los componentes statefull a lo largo de su existencia.

Angular

De acuerdo con Wikipedia[31], Angular es un web *framework* desarrollado en TypeScript de código abierto mantenido por Google que se utiliza para crear y mantener *single page applications*.

1. Generación de código
2. Componentes
3. Ciclos de vida de componentes

Vue/Nuxt

De acuerdo con la documentación de Vue.js[32], Vue es un *framework* progresivo para desarrollar interfaces de usuario. A diferencia de otros *frameworks* monolíticos, Vue está diseñado desde cero para ser utilizado incrementalmente.

La librería central está enfocada solo en la capa de visualización y es fácil de utilizar e integrar con otras librerías o proyectos existentes. Por otro lado, Vue también es perfectamente capaz de impulsar sofisticadas *single-page applications* cuando se utiliza en combinación con librerías de apoyo.

Comparación con React React y Vue comparten muchas similitudes; ambos utilizan un DOM virtual, proporcionan componentes de vista reactivos y componentes, mantienen el enfoque en la librería central, con temas como el enrutamiento y la gestión global del estado manejadas por librerías asociadas.

Tanto React como Vue ofrecen un rendimiento comparable en los casos de uso más comunes, con Vue normalmente un poco por delante debido a su implementación más ligera del DOM virtual.

En Vue, las dependencias de un componente se rastrean automáticamente durante su renderizado, por lo que el sistema sabe con precisión qué componentes deben volver a renderizarse cuando cambia el estado. Se puede considerar que cada componente tiene un *shouldComponentUpdate* automáticamente implementado.

En general, esto elimina la necesidad de toda una clase de optimizaciones de rendimiento a los desarrolladores y les permite centrarse más en la construcción de la aplicación en sí misma a medida que va escalando.

Comparación con Angular En términos de rendimiento, ambos *frameworks* son excepcionalmente rápidos y no hay suficientes datos de casos de uso en el mundo real para hacer un veredicto.

Vue es mucho menos intrusivo en las decisiones del desarrollador que Angular, ofreciendo soporte oficial para una variedad de sistemas de desarrollo, sin restricciones sobre cómo estructurar su aplicación. Muchos desarrolladores disfrutan de esta libertad, mientras que algunos prefieren tener solo una forma correcta de desarrollar cualquier aplicación.

Para empezar con Vue, todo lo que se necesita es familiarizarse con HTML y ES5 JavaScript; con estas habilidades básicas, se puede empezar a desarrollar aplicaciones no triviales.

La curva de aprendizaje de Angular es mucho más pronunciada. La superficie de la API del framework es enorme y como usuario necesitará familiarizarse con muchos más conceptos antes de ser productivo. La complejidad de Angular se debe en gran medida a su objetivo de diseño de apuntar solo a aplicaciones grandes y complejas - pero eso hace que el *framework* sea mucho más difícil de entender para los desarrolladores con menos experiencia.

Nuxt.js

De acuerdo a la documentación de Nuxt[33], Nuxt.js es un *framework* progresivo basado en Vue.js para crear aplicaciones web. Se basa en Vue.js y herramientas de desarrollo como webpack, Babel y PostCSS. El objetivo de Nuxt es hacer que el desarrollo web en Vue.js sea eficaz.

Características

1. Manejo de archivos Vue (*.vue)
2. División automática de código
3. Representación del lado del servidor
4. Potente sistema de enrutamiento con datos asincrónicos
5. Servicio de archivos estáticos
6. Soporte sintaxis ES2015+ (Javascript ES6)
7. Gestión del elemento <head> (<title>, <meta>, etc.)
8. Preprocesador: Sass, Less, Stylus, etc.

Elección

Se usará Vue/Nuxt por ser el *framework* con el que el equipo está más acostumbrado, además de ser el más flexible de las opciones expuestas.

3.2.6. CSS Frameworks: Vuetify vs Bootstrap

De acuerdo con Wikipedia[34], un CSS *framework* es una biblioteca de estilos genéricos que puede ser usada para implementar diseños web y aportan una serie de utilidades que pueden ser aprovechadas frecuentemente en los distintos diseños web.

Vuetify

De acuerdo a la documentación de Google[35], Material Design es un lenguaje visual que sintetiza los principios clásicos del buen diseño respecto a las ideas de Google y en estos principios está basado Vuetify.

El objetivo de Material Design es crear un lenguaje visual que sintetice los principios clásicos del buen diseño, unificar el desarrollo de un único sistema subyacente que unifique la experiencia del usuario en plataformas y dispositivos, así como personalizar el lenguaje visual de Material Design.

Asimismo, de acuerdo con la documentación de Vuetify[36], este CSS *framework* está integrado para ser usado en los componentes de Vue/Nuxt, desde botones, barras de navegación, *layouts* y demás.

Bootstrap

De acuerdo a la documentación de Bootstrap[37], es un CSS *framework* orientado al diseño responsivo de una aplicación web.

Tiene *templates* para botones, barras de navegación, estilos de tipografía entre otros. Es de fácil integración con React, AngularJS o Vue y tiene una comunidad extensa por los años y popularidad que tiene.

Elección

Se ha elegido usar en una primera instancia Vuetify porque es un CSS *framework* que está integrado en las tecnologías asociadas de Vue, como Vue Router, Vue Meta. Asimismo, sus componentes son simples de entender y de implementar.

3.2.7. MongoDB vs Apache CouchDB

MongoDB

De acuerdo a la documentación de Wikipedia[38], MongoDB (del inglés humongous, “enorme”) es un sistema de base de datos NoSQL, orientado a documentos y de código abierto.

En lugar de guardar los datos en tablas, tal y como se hace en las bases de datos relacionales, MongoDB guarda estructuras de datos BSON (una especificación similar a JSON) con un esquema dinámico, haciendo que la integración de los datos en ciertas aplicaciones sea más fácil y rápida.

Características

1. Consultas ad hoc: MongoDB soporta la búsqueda por campos, consultas de rangos y expresiones regulares.
2. Indexación: cualquier campo en un documento de MongoDB puede ser indexado, al igual que es posible hacer índices secundarios.
3. Replicación: MongoDB soporta el tipo de replicación primario-secundario.
4. Balanceo de carga; MongoDB puede escalar de forma horizontal usando el concepto de *sharding*.
5. Almacenamiento de archivos: MongoDB puede ser utilizado como un sistema de archivos, aprovechando la capacidad de MongoDB para el balanceo de carga y la replicación de datos en múltiples servidores.
6. Agregación: MongoDB proporciona un framework de agregación que permite realizar operaciones similares al GROUP BY de SQL.

Apache CouchDB

De acuerdo con Wikipedia[39], se trata de una base de datos NoSQL que emplea JSON para almacenar los datos, JavaScript como lenguaje de consulta por medio de MapReduce y HTTP como API.

Características

1. Almacenamiento de documentos: CouchDB almacena los datos como “documentos”, esto es, uno o más pares campo/valor expresados en JSON.
2. Semántica ACID: CouchDB provee una semántica de atomicidad, consistencia, aislamiento y durabilidad.
3. Vistas e índices Map/Reduce: los datos almacenados se estructuran por medio de vistas.
4. Arquitectura distribuida con replicación: CouchDB se diseñó con teniendo en mente la replicación bidireccional (o sincronización) y la operación *offline*.
5. Interfaz REST: todos los ítems tienen una URI única que queda expuesta vía HTTP. REST usa los métodos HTTP POST, GET, PUT y DELETE para las cuatro operaciones básicas CRUD (*Create, Read, Update, Delete*).

Elección

De acuerdo con Mosquera[6], MongoDB es la base de datos NoSQL orientada a documentos más popular y usada en los *papers* de investigación. Por ello se usará MongoDB como base de datos.

3.2.8. Bibliotecas JavaScript para diagramado: GoJS vs Fabric.js vs D3.js

GoJS

De acuerdo a la documentación de GoJS[40], GoJS es una biblioteca de JavaScript y TypeScript para crear diagramas y gráficos interactivos.

GoJS le permite crear todo tipo de diagramas y gráficos para sus usuarios, desde simples diagramas de flujo y organigramas hasta diagramas industriales altamente específicos, diagramas SCADA y BPMN, diagramas médicos como genogramas y diagramas de modelos de brotes, y más.

GoJS facilita la construcción de diagramas JavaScript de nodos complejos, enlaces y grupos con plantillas y diseños personalizables.

GoJS ofrece muchas funciones avanzadas para la interactividad del usuario, como arrastrar y soltar, copiar y pegar, edición de texto en el lugar, información sobre herramientas, menús contextuales, diseños automáticos, plantillas, enlace de datos y modelos, gestión de estado y deshacer transaccional, paletas, descripciones generales, controladores de eventos, comandos, herramientas extensibles para operaciones personalizadas y animaciones personalizables.

GoJS se implementa en TypeScript y puede usarse como una biblioteca de JavaScript o incorporarse a su proyecto desde fuentes de TypeScript.

GoJS normalmente se ejecuta completamente en el navegador, renderizando a un elemento HTML Canvas o SVG sin ningún requisito del lado del servidor.

Fabric.js

De acuerdo con la documentación de Fabric[\[41\]](#), Fabric.js es una biblioteca de JavaScript que proporciona un modelo para trabajar sobre un canvas HTML5 para poder agregar objetos como rectas, circunferencias, rectángulos, etc.

Características

1. Drag & Drop integrado en cada objeto de Fabric.js
2. Permite la especialización de clases para crear objetos personalizados.

D3.js

De acuerdo con Wikipedia[\[42\]](#), D3.js es una biblioteca de JavaScript para producir a partir de datos infogramas dinámicos e interactivos en navegadores web.

Características

1. Selecciones: se pueden seleccionar elementos del documento HTML y asignarle propiedades.
2. Transiciones: permiten interpolar en el tiempo valores de atributos, lo que produce cambios visuales en los infogramas.
3. Asociación de datos: se asocia a cada elemento un objeto SVG con propiedades (forma, colores, valores) y comportamientos (transiciones, eventos).

Elección

Se llevó a la práctica en el prototipo funcional las tres opciones antes expuestas junto con algunas otras y se decidió usar GoJS para el proyecto por ser la biblioteca JavaScript más completa para diagramado y que genere los diagramas con un JSON simple para parsear esos datos y realizar la conversión.

3.2.9. Python 3

De acuerdo con Mark Lutz[\[43\]](#), Python es un lenguaje de programación interpretado, interactivo y orientado a objetos. Incorpora módulos, excepciones, tipeo dinámico, tipos de datos dinámicos y clases.

Tiene sintaxis clara, interfaces para muchas llamadas de sistema y bibliotecas, así como para varios sistemas de ventanas. Además, es extensible en C o C++.

También se puede usar como un lenguaje de extensión para aplicaciones que necesitan una interfaz programable y es portátil: se ejecuta en muchas variantes de Unix, en Mac y en Windows 2000 y versiones posteriores.

La biblioteca estándar del lenguaje, cubre áreas como el procesamiento de cadenas (expresiones regulares, Unicode, cálculo de diferencias entre archivos), protocolos de Internet (HTTP, FTP, SMTP, XML-RPC, POP, IMAP, programación CGI), ingeniería de software (pruebas unitarias, registro, creación de perfiles, análisis del código Python) e interfaces del sistema operativo (llamadas al sistema, sistemas de archivos, sockets TCP/IP).

Fortalezas

Es orientado a objetos y funcional Python es un lenguaje orientado a objetos; su modelo de clase admite nociones avanzadas como el polimorfismo, la sobrecarga del operador y la herencia múltiple; sin embargo, en el contexto de la simple sintaxis y escritura de Python, la programación orientada a objetos es fácil de aplicar.

Además de servir para la estructuración y reutilización de código, la naturaleza orientada a objetos de Python lo hace ideal como herramienta de secuencias de comandos para otros lenguajes de sistemas orientados a objetos. Por ejemplo, con el código apropiado, los programas Python pueden especializar clases implementadas en C++, Java y C#.

No obstante, la programación orientada a objetos es una opción en Python. Al igual que C++, Python admite modos de programación tanto procedimentales como orientados a objetos. Las herramientas orientadas a objetos se pueden aplicar siempre que las restricciones lo permitan.

Además de sus paradigmas originales de procedimientos (basados en declaraciones) y orientados a objetos (basados en clases), Python en los últimos años ha adquirido soporte incorporado para la programación funcional, un conjunto que incluye generadores, comprensiones, cerraduras, mapas, decoradores, funciones anónimas lambdas.

Es extensible Su conjunto de herramientas lo ubica entre los lenguajes de *scripting* tradicionales como Tcl, Scheme y Perl; y los lenguajes de desarrollo de sistemas como C, C++ y Java.

Python proporciona toda la simplicidad y facilidad de uso de un lenguaje de programación, junto con herramientas de ingeniería de software más avanzadas que normalmente se encuentran en lenguajes compilados.

A diferencia de algunos lenguajes de secuencias de comandos, esta combinación hace que Python sea útil para proyectos de desarrollo a gran escala. Algunas de las herramientas de Python son:

Escritura dinámica Python realiza un seguimiento de los tipos de objetos que utiliza su programa cuando se ejecuta; eso no requiere declaraciones complicadas de tipo y tamaño en su código. De hecho, no existe una declaración de tipo o variable en Python.

Debido a que el código Python no restringe los tipos de datos, también se aplica automáticamente a toda una gama de objetos.

Gestión automática de la memoria Python asigna automáticamente objetos y los reclama el recolector de basura cuando ya no se usan y la mayoría puede crecer y reducirse según la demanda. Es decir, Python realiza un seguimiento de los detalles de la memoria de bajo nivel.

Tipos de objetos incorporados Python proporciona estructuras de datos de uso común como listas, diccionarios y cadenas como partes intrínsecas del lenguaje. Son flexibles y fáciles de usar. Por ejemplo, los objetos integrados pueden crecer y reducirse según demanda, pueden anidarse arbitrariamente para representar información compleja, y más.

Herramientas incorporadas Para procesar todos esos tipos de objetos, Python viene con operadores potentes y estándar, que incluyen concatenación (unir colecciones), segmentar (extraer secciones), ordenar, mapear y más.

Utilidades de biblioteca Para tareas más específicas, Python también viene con una gran colección de herramientas de biblioteca precodificadas que admiten todo, desde la coincidencia de expresiones regulares hasta la creación de redes. Una vez que aprende el lenguaje en sí, las herramientas de la biblioteca de Python son donde ocurre gran parte de la acción a nivel de aplicación.

Utilidades de terceros Debido a que Python es de código abierto, los desarrolladores pueden contribuir con herramientas precodificadas que admitan tareas que aún no son herramientas estándar; en la Web, encontrará soporte gratuito para COM, imágenes, programación numérica, XML y acceso a bases de datos.

Elección

Se ha elegido Python para desarrollar los algoritmos del proyecto dado que es multiplataforma y es de fácil integración con el *framework* web elegido para el back end.

3.2.10. Django vs Flask

Para elegir el lenguaje a usar para el back end se realizó un estudio de lenguajes apropiados para usar con un JavaScript web *framework*.

Flask

Flask es un micro *web framework* escrito en Python. Se clasifica como micro porque no requiere herramientas o bibliotecas particulares.

No tiene capa de abstracción de base de datos, validación de formularios ni ningún otro componente donde las bibliotecas de terceros preexistentes brinden

funciones comunes. Sin embargo, Flask admite extensiones que pueden agregar características de la aplicación como si se implementaran en el propio Flask.

Existen extensiones para mapeadores relacionales de objetos, validación de formularios, manejo de carga, varias tecnologías de autenticación abiertas y varias herramientas relacionadas con el marco común. Las extensiones se actualizan con mucha más frecuencia que el programa central Flask.

Ventajas y desventajas de Flask Está basado en la especificación WSGI de Werkzeug y el motor de templates Jinja2; además, tiene una licencia BSD.

Entre las ventajas y desventajas, destacamos:

Ventajas

1. Es un framework que se destaca en instalar extensiones o complementos de acuerdo al tipo de proyecto que se va a desarrollar, es decir, es perfecto para el prototipado rápido de proyectos.
2. Incluye un servidor web, así podemos evitamos instalar uno como Apache o Nginx. Además, nos ofrece soporte para pruebas unitarias y para Cookies de seguridad (sesiones del lado del cliente), apoyándose en el motor de plantillas Jinja2.
3. Su velocidad es mejor a comparación de Django. Generalmente el desempeño que tiene Flask es superior debido a su diseño minimalista que tiene en su estructura.
4. Flask permite combinarse con herramientas para potenciar su funcionamiento, por ejemplo: Jinja2, SQLAlchemy, Mako y Peewee entre otras.

Desventajas

1. Su sistema de autenticación de usuarios es muy básico, a comparación del potente sistema de autenticación que utiliza Django, este puede crear un sistema de Login API sencillo para aplicaciones más pequeñas.
2. Su representación de Plugins no es tan extensa como la tiene Django.
3. Es complicado en las pruebas unitarias o migraciones.
4. El ORM (Mapeo objeto relacional) para conectar con las bases de datos, SQLAlchemy es externo.

Django

De acuerdo con Wikipedia[\[44\]](#), Django es un framework de desarrollo web de código abierto, escrito en Python, que respeta el patrón de diseño conocido como MVC (Modelo–Vista–Controlador).

Características

1. Aplicaciones “enchufables” que pueden instalarse en cualquier página gestionada con Django.
2. Una API de base de datos robusta.
3. Un sistema incorporado de “vistas genéricas” que ahorra tener que escribir la lógica de ciertas tareas comunes.
4. Un sistema extensible de plantillas basado en etiquetas, con herencia de plantillas.
5. Un despachador de URL basado en expresiones regulares.
6. Un sistema “middleware” para desarrollar características adicionales.
7. Documentación incorporada accesible a través de la aplicación administrativa.

Elección

Se ha elegido Flask por ser un *framework* web conocido por el equipo y que ha dado resultados.

3.3. Conclusiones

1. Tomando en cuenta la experiencia del equipo con CSS, además de que el proyecto no se enfocará en hacer muchas hojas de estilo para cada componente, página o vista de la aplicación web, se usará CSS en lugar de Sass.
2. De acuerdo con el sitio stack overflow[28], JavaScript es el lenguaje más popular de 2019 y aunque TypeScript es de los lenguajes que tienen un mayor nivel de aceptación, se usará JavaScript no solo por ser el lenguaje más popular y, en consecuencia, con más compatibilidad y material de ayuda, sino también porque el equipo está acostumbrado a este lenguaje y tiene experiencia con web *frameworks* escritos en JavaScript.
3. Se usará Vue/Nuxt por ser el *framework* con el que el equipo está más acostumbrado, además de ser el más flexible de las opciones expuestas.
4. Se ha elegido usar en una primera instancia Vuetify porque es un CSS *framework* que está integrado en las tecnologías asociadas de Vue, como Vue Router, Vue Meta. Asimismo, sus componentes son simples de entender y de implementar.
5. De acuerdo con Mosquera[6], MongoDB es la base de datos NoSQL orientada a documentos más popular y usada en los *papers* de investigación. Por ello se usará MongoDB como base de datos.

-
6. Se llevó a la práctica en el prototipo funcional las tres opciones antes expuestas junto con algunas otras y se decidió usar GoJS para el proyecto por ser la biblioteca JavaScript más completa para diagramado y que permite generar los diagramas con un JSON simple para parsear y realizar las transformaciones pertinentes.
 7. Se ha elegido Python para desarrollar los algoritmos del proyecto dado que es multiplataforma y es de fácil integración con el *framework* web elegido para el back end.
 8. Se ha elegido Flask por ser un *framework* web conocido por el equipo y que ha dado resultados.

Capítulo 4

Análisis y Diseño del Sistema

Aquí falta poner: El capítulo está organizado de la siguiente manera blablabla y tiene tal, tal y tal.

4.1. Metodología

De acuerdo a la Universidad Católica los Ángeles^[45], en el campo del desarrollo de *software* hay dos grupos de metodologías, las tradicionales y las ágiles.

Las tradicionales suelen ser rígidas en cuanto a la documentación, exigiendo que sea exhaustiva y centrándose en cumplir con un plan de trabajo establecido en la etapa inicial del proyecto, mientras que las ágiles permiten realizar cambios en los requerimientos conforme a los avances del mismo.

Dado que cualquier cambio en el proceso de una metodología tradicional genera la necesidad de una reconstrucción del plan de trabajo y requiere invertir tiempo de desarrollo, surgieron las llamadas metodologías ágiles que permiten realizar cambios en los requerimientos conforme a los avances en el proyecto, tomando en cuenta las habilidades del equipo de desarrollo y una relación con el cliente; esta forma de trabajo permite mostrar avances funcionales en el producto en un periodo de tiempo corto para realizar una evaluación y, en caso de ser requerido, se sugieran cambios.

Se han propuesto muchos modelos ágiles de proceso y están en uso en toda la industria. Entre ellos se encuentran los siguientes:

- Desarrollo adaptativo de software (DAS).
- Scrum.
- Método de desarrollo de sistemas dinámicos (MDSD).
- Cristal.
- Desarrollo impulsado por las características (DIC).
- Desarrollo esbelto de software (DES).
- Modelado ágil (MA).

-
- Proceso unificado ágil (PUA).

4.1.1. Scrum

De acuerdo con *The Scrum Guide*[46], Scrum es un marco de trabajo para la entrega de productos incrementales y de máximo valor productivo.

Un artefacto es un elemento que garantiza la transparencia, es el registro de la información fundamental del proceso Scrum y a continuación se describen los 4 artefactos principales de Scrum:

- Lista de producto (*product backlog*): es el listado de todas las tareas que necesita el proyecto para alcanzar su realización. Al iniciar el desarrollo del proyecto esta lista no se encuentra completa y conforme avanzan los *sprints* se le añaden tareas para solventar las necesidades que van surgiendo gracias a la retroalimentación del cliente.
- Lista de pendientes del *sprint* (*sprint backlog*): es la lista de tareas seleccionadas del product backlog que se planifica realizar durante el periodo del *sprint* y se definen a los responsables de cada tarea.
- *Sprint*: es el corazón de Scrum; es de un periodo de tiempo determinado de un mes o menos, donde el equipo completa conjuntos de tareas incluidas en el *backlog* para crear un incremento del producto utilizable.
- Incremento: es la suma de todos los elementos de la lista de producto completados durante un *sprint* unido con los incrementos de los *sprints* anteriores. Al finalizar el *sprint* el nuevo incremento debe estar en condiciones de ser utilizado.

La metodología nos permite definir un periodo de hasta un mes para cada *sprint* y se ha optado por un periodo de 30 días, contemplándose un total de ocho sprints, donde al término de cada uno se tendrá un avance del sistema.

Asimismo, Scrum tiene cuatro eventos formales contenidos dentro del *sprint* para la inspección y adaptación del producto que se describen a continuación:

- Planificación del *sprint* (*sprint planning*): es una reunión con todo el equipo Scrum con una duración máxima de 8 horas para el *sprint* de un mes en la que el Scrum master es el encargado de que los asistentes entiendan el propósito de dicha reunión.
- Scrum diario (*daily scrum*): es una reunión de máximo 15 minutos en la cual el equipo de desarrollo expone sus actividades y planifica las tareas de las próximas 24 horas.
- Revisión del *sprint* (*sprint review*): al finalizar cada *sprint* se lleva a cabo una reunión para la revisión del incremento del producto y en caso de ser necesario realizar ajustes a la lista de producto.

-
- Retrospectiva del *sprint* (*sprint retrospective*): es el momento para el equipo Scrum de pensar en mejoras para el próximo *sprint* que contribuyan al proyecto.

El equipo Scrum consiste en los siguientes roles:

- El dueño de producto (*product owner*): es la persona responsable de maximizar el valor del producto y el trabajo del equipo de desarrollo; es la única responsable de gestionar la lista de producto y cualquier cambio a esa lista debe ser revisada y aprobada por él.
- El equipo de desarrollo (*development team*): es el conjunto de profesionales que realizan el trabajo para la entrega de un incremento en producto en cada *sprint*; son un grupo autoorganizado y multifuncional donde cada miembro del equipo tiene habilidades especializadas pero que la responsabilidad de las tareas completadas, incrementos del producto o retrasos recaen en el equipo como un todo.
- El Scrum master: es la persona responsable de asegurar que Scrum es entendido y adoptado por todos los involucrados en el proyecto, asegurándose de ayudar a las personas externas al equipo Scrum a entender qué interacciones con el equipo pueden ser útiles y cuáles no.

4.1.1.1. Historias de usuario

De acuerdo con Scrum México[47], las historias de usuario son la técnica por la que el usuario especifica de manera general los requerimientos que el sistema debe cumplir.

Normalmente estas redacciones se llevan a cabo en tarjetas de papel donde se describen brevemente las funciones que el producto final debe poseer sean o no requisitos funcionales.

El tratamiento de las historias de usuario es flexible y dinámico, cada una de ellas es lo suficientemente detallada y delimitada para que el equipo de desarrollo pueda implementarla durante la duración del *sprint*.

Es habitual que se siga una plantilla para estas tarjetas como la siguiente:

- Como <Usuario>
- Quiero <algún objetivo>
- Para <motivo>

Una de sus grandes ventajas dado el caso de que un usuario no sea lo suficientemente detallista con la historia, esta se puede partir en historias más pequeñas antes de que el equipo empiece a trabajar en ella.

Un ejemplo de historia de usuario para el desarrollo sería:

-
- Como usuario
 - Quiero poder ingresar al sistema con mi correo y contraseña
 - Para tener acceso a sus funciones

Otra forma de darle detalle a las historias de usuario es mediante el añadido de un criterio de aceptación. Un criterio de aceptación es una prueba que será cierta cuando el equipo de desarrollo complete la descripción de la tarjeta.

A continuación se listan las principales historias de usuario que se consideraron para el desarrollo de la propuesta de solución; tenga en cuenta que algunas de ellas tienen criterios de aceptación pero en otras no se consideró necesarias porque son explícitamente claras.

-
- No. 1
 - Como usuario
 - Quiero poder ingresar al sistema con mi correo y contraseña
 - Para tener acceso a sus funciones
 - Criterios de aceptación
 - El usuario recibirá un correo electrónico de confirmación de su alta en el sistema con el correo y contraseña que ingresó para tenerlos de respaldo.

-
- No. 2
 - Como usuario
 - Quiero poder recuperar mi contraseña en caso de olvidarla
 - Para no perder el trabajo realizado en el sistema
 - Criterios de aceptación
 - El usuario podrá ingresar una nueva contraseña, siempre y cuando recuerde el correo electrónico con el que se dio de alta en el sistema.
 - Al ingresar una nueva contraseña, recibirá un correo de confirmación del cambio de contraseña y sus datos permanecerán intactos.

-
- No. 3
 - Como usuario del sistema quiero darme de alta con una contraseña facil de recordar

-
- Pero que esté segura en la base de datos,
 - Para no tener comprometidos los diagramas que yo pueda generar en el sistema.
 - Criterios de aceptación
 - Asegurarse que usuario ingrese una contraseña de al menos 8 caracteres.
 - Se le solicitará al usuario que ingrese 2 veces la misma contraseña para asegurarse que le es fácil recordarla y que efectivamente es la misma.
 - Antes de guardar la contraseña, esta deberá pasar por un método que la haga ilegible para el usuario (algún algoritmo de digestión o cifrado).
-

- No. 4
 - Como usuario quiero poder crear un diagrama ER arrastrando y soltando elementos de una “paleta”
 - Para hacerlo de manera mas fácil e intuitiva.
 - Criterios de aceptación
 - El usuario podrá empezar un nuevo diagrama al seleccionar la opción de “diagramador ER”.
 - Tendrá a su disposición una paleta con los elementos permitidos en un diagrama ER estándar.
 - Podrá arrastrar y soltar los elementos de la paleta a un área delimitada para empezar con el diseño de su diagrama.
-

- No. 5
 - Como usuario quiero poder guardar mi último trabajo realizado en el diagramador ER.
 - Para poder consultarlo en otro momento.
 - Criterios de aceptación
 - Dispondrá de un botón para poder guardar en la base de datos el diagrama que esté creando/editando.
 - Antes de almacenar el diagrama en el *canvas* o zona de diagramado, se le mostrará un mensaje de confirmación para guardar su diagrama actual.
-

- No. 6

-
- Como usuario me gustaría poder ver mi último trabajo que realicé
 - Cuando seleccione la opción “Entidad-Relación”
 - Para poder modificar el diseño.
-

- No. 7
 - Como usuario quiero tener la opción de cargar un diagrama a partir de un archivo
 - Para hacer modificación de dicho diagrama y guardarlo de ser necesario.
 - Criterios de aceptación
 - El usuario tendrá un botón “cargar.”^{en} el menú del diagramador ER para poder importar un archivo con extensión .json
 - Al importar el archivo, este pasará por un proceso de validación para asegurarse que es un archivo JSON válido.
 - Durante el proceso de validación se verificará que el contenido del archivo es un diagrama compatible con la estructura de los generados por el diagramador ER.
 - Al contener una información compatible, se mostrará en la zona de diagramado el contenido del archivo.
-

- No. 8
 - Como usuario quiero poder descargar el diagrama que esté visible en la página web
 - Para poder distribuirlo como yo desee.
 - Criterios de aceptación
 - El usuario dispondrá de un botón “Descargar.”^{en} el diagramador ER para obtener un archivo con el contenido del diagrama visible en la zona de diagramado.
 - El archivo generado será de extensión .json con la información necesaria para que el diagramador pueda cargarlo en otro momento.
-

- No. 9
- Como usuario quiero tener una forma de validar mi diagrama ER

-
- Por que es importante saber si el diagrama que estoy creando es un diagrama válido del modelo ER.
 - Criterios de aceptación
 - El usuario tendrá disponible un botón que al darle click iniciará un proceso de validación del diagrama actual de la zona de diagramado.
 - Al término del proceso de validación se le mostrará un mensaje al usuario indicando si el diagrama cumple o no las reglas del modelo ER.
-

- No. 10
 - Como usuario en caso de tener un diagrama ER válido
 - Me gustaría poder tranformar el diagrama ER en su versión del modelo relacional.
 - Para poder ver el equivalente del diagrama ER en el modelo Relacional.
 - Criterios de aceptación
 - El usuario dispondrá de la opción de tranformar al modelo relacional solamente despues de haber validado que el diagrama ER cumple con las reglas.
 - Posterior a la validación se le mostrará al ususario en mensaje de confirmación y un botón para disparar el proceso de transformación a su equivalente relacional.
 - Al terminar el proceso de transformación equivalente se le redirijira al menú “Relacional”donde podrá visualizar el equivalente al modelo relacional.
-

- No. 11
- Como usuario después de observar el diagrama relacional
- Quiero poder obtener las sentencias SQL equivalentes
- Para poder crear el esquema de base de datos relacional en un SBGB
- Criterios de aceptación
 - Las sentencias SQL solo podrán ser descargadas en el menú “Relacional.”^a un archivo con extension .sql dando click a un botón con la leyenda “Descargar SQL”.
 - Solo podrán ser obtenidas las sentencias SQL de un diagrama ER creado y/o validado por el sistema.

-
- No. 12
 - Como usuario quiero poder transformar mi diagrama ER en su equivalente modelo concepcual NoSQL
 - Para poder observar el cambio entre modelos.
 - Criterios de aceptación
 - El usuario dispondrá de la opción de tranformar al modelo NoSQL solamente después de haber validado que el diagrama ER cumple con las reglas.
 - Posterior a la validación se le mostrará al usuario un mensaje de confirmación y un botón para disparar el proceso de transformación al modelo conceptual NoSQL.
 - Una vez validado el diagrama ER e iniciado el proceso para la transformación al modelo conceptual NoSQL se le indicará al usuario que el proceso puede ser tardado.
 - Al término del proceso de transformación se le redirigirá al menú “No Relacional” donde observará el modelo conceptual NoSQL equivalente a su diagrama ER.
-

- No. 13
 - Como usuario quiero poder obtener el *script* desde el modelo conceptual NoSQL
 - Para poder generar la base de datos en un gestor de base de datos NoSQL orientado a documentos
 - Criterios de aceptación
 - El usuario dispondrá de la opción de obtener el *script* solamente después de haber validado que el diagrama ER cumple con las reglas.
 - Posterior a la validación se le mostrará al usuario un mensaje de confirmación y un botón para disparar el proceso de generación de *scripts* para el gestor de base de datos orientado a documentos.
 - Una vez empezado el proceso de generación de *scripts* se le indicará al usuario que el proceso puede ser tardado.
 - Al término del proceso de transformación se le redirigirá al menú “No Relacional” donde observará los *scripts* NoSQL.
-

- No. 14

-
- Como usuario me gustaría tener un reporte técnico y
 - Quiero que la redacción sea legible y referenciada
 - Para compartirlo en el futuro con equipos de desarrollo y ver la posibilidad de agregar nuevas funciones al sistema.
-

Teniendo en cuenta que se está trabajando con una metodología ágil, estas historias de usuario pueden aumentar o en su defecto dividirse en historias más pequeñas dependiendo de los criterios del equipo de desarrollo durante el proceso de la implementación de cada historia.

4.1.1.2. Lista de producto (*product backlog*)

De acuerdo a Trigas Gallego[48], la lista de producto es una lista ordenada de todo lo que podría ser necesario en el producto y es la fuente de requisitos para cualquier cambio a realizarse en el producto, enumera todas las características, funcionalidades, requisitos, mejoras y correcciones que constituyen cambios a realizarse sobre el producto para entregas futuras.

Se consideran la siguiente lista como la lista de producto con las tareas necesarias para cumplir con todas las historias de usuario mencionadas en la sección anterior.

Considerando que estas pueden cambiar conforme avancen los *sprints* y añadirse nuevas tareas.

No. Historia de Usuario	requerimiento/Tarea	Responsable
14	Investigación Bases de datos relacionales.	Eduardo/Omar
14	Redacción y selección de las tecnologías a utilizar para el desarrollo de la plataforma.	Eduardo
14	Investigación Bases de datos relacionales.	Eduardo/Omar
14	Redacción bases de datos relacionales en el documento técnico.	Eduardo
14	Investigación Bases de datos no relacionales.	Eduardo/Omar
14	Redacción bases de datos no relacionales en el documento técnico.	Eduardo
14	Investigación y selección del modelo de base de datos no relacional a utilizar junto a las tecnologías a utilizar.	Eduardo/Omar
14	Análisis y diseño de la arquitectura web.	Eduardo/Omar
1	Desarrollo de la estructura básica del <i>backend</i> .	Omar

Continuación de tabla de lista de producto

1	Desarrollo de la estructura básica del <i>frontend</i> .	Eduardo
1	Agregar servicio <i>backend</i> para registrar un usuario.	Omar
1	Agregar formulario para captura de datos de registro de un usuario en el <i>frontend</i> .	Eduardo
2	Agregar servicio <i>backend</i> para recuperar contraseña del usuario.	Omar
2	Agregar servicio <i>backend</i> para envío de email al usuario registrado y de recuperación de contraseña.	Omar
2	Agregar vista con formulario para recuperación de contraseña del usuario en el <i>frontend</i> .	Eduardo
2	Integración de los servicios de registro y recuperación de contraseña en el <i>frontend</i> .	Eduardo
3	Agregar servicio <i>backend</i> para hacer ilegible la contraseña del usuario en la base de datos.	Omar
4	Planteamiento de escenarios de los esquemas entidad-relación.	Eduardo
4	Agregar a la interfaz gráfica de la aplicación web el menú “Entidad-Relación”.	Eduardo
4	Agregar iconos de los elementos básicos de un diagrama ER en el diagramador.	Eduardo
5	Agregar servicio <i>backend</i> para guardar un diagrama ER en formato JSON en la base de datos e integrarlo al <i>frontend</i> .	Omar
5	Agregar servicio <i>backend</i> para recuperar el diagrama guardado del usuario de la base de datos y regresarlo en formato JSON.	Omar
6	Recuperar el último diagrama del usuario del <i>backend</i> y mostrarlo en el <i>frontend</i> .	Eduardo
6	Manejar el estado de la interfaz web para no perder el diagrama ER que está editando el usuario.	Eduardo
6	Definición de las reglas del modelo entidad-relación.	Eduardo
4	Implementar la edición de diagramas ER en el <i>frontend</i> .	Eduardo
7	Habilitar la carga de un archivo en la aplicación web.	Omar
7	Agregar la función para validar el contenido del archivo JSON y pintarlo en la zona de diagramado.	Eduardo
8	Agregar la descarga del diagrama visible en la zona de diagramado a un archivo JSON.	Eduardo
9	Agregar botón de validar al <i>frontend</i> y mostrar el <i>loader</i> mientras se procesa el diagrama ER.	Eduardo/Omar
9	Agregar servicio <i>backend</i> para la validación del diagrama entidad-relación.	Eduardo/Omar

Continuación de tabla de lista de producto

9	implementación de algoritmo para validación del diagrama ER en el <i>backend</i> .	Eduardo/Omar
9	Pruebas de captura de distintos diagramas entidad-relación.	Eduardo/Omar
9	Pruebas para validar el algoritmo de validación.	Eduardo/Omar
10	Agregar servicio al <i>backend</i> para transformación del esquema entidad-relación al modelo relacional.	Omar
10	Implementación del algoritmo de transformación ER -> relacional	Eduardo/Omar
10	Agregar menú relacional a la interfaz gráfica.	Eduardo/Omar
10	Prueba de transformación de distintos diagramas E-R al modelo relacional.	Eduardo/Omar
10	Visualización de la transformación del modelo ER al modelo Relacional.	Eduardo
14	Revisión de la redacción del reporte técnico para presentación de TT1	Eduardo
11	Agregar servicio <i>backend</i> para la descarga del archivo .sql con las sentencias equivalentes.	Eduardo/Omar
11	Pruebas de coherencia de las sentencias equivalentes de distintos en el SGBD.	Eduardo/Omar
12	Definición de las reglas de transformación al modelo NoSQL.	Eduardo/Omar
12	Pruebas de distintos escenarios del modelo relacional al modelo NoSQL.	Eduardo/Omar
12	Agregar servicio al <i>backend</i> para transformación del esquema relacional al modelo NoSQL.	Omar
12	Agregar servicio al <i>backend</i> para guardar el modelo NoSQL en la base de datos.	Omar
12	Agregar menú no relacional a la interfaz gráfica.	Omar
12	Implementación del algoritmo de transformación de modelo relacional al modelo conceptual NoSQL.	Eduardo
12	Comprobación de la coherencia de la transformación entre modelos relacional a no relacional.	Eduardo/Omar
13	Agregar servicio <i>backend</i> para transformación del modelo ER al modelo no relacional.	Eduardo/Omar
13	Ajustar la interfaz del menú ER para mostrar mensaje transformación la modelo NoSQL.	Omar
13	Manejar el estado del diagrama ER y redireccionar al menú no relacional al terminar la transformación.	Eduardo
13	Pruebas de caso de estudio para verificar la correcta transformación y coherencia en los datos.	Eduardo/Omar
14	Revisión de la redacción del reporte técnico para presentación de TT2	Eduardo

Tabla 4.1: Lista de producto

4.2. Análisis de factibilidad

Para todo proyecto es necesario realizar un estudio de factibilidad el cual consta de 3 partes. El objetivo de esta sección es mostrar la factibilidad técnica, económica y operativa para mostrar la sustentabilidad esquematizando los costos para su desarrollo.

4.2.1. Factibilidad técnica

Mediante esta fase del estudio se determina si el equipo de desarrollo cuenta con los recursos técnicos necesarios para la realización del sistema propuesto. Esto se hace considerando la disponibilidad de los recursos tanto de hardware, software y recurso humano.

4.2.1.1. Sistema operativo

Este elemento es importante ya que debe cumplir con las características de estabilidad, velocidad, seguridad y escalabilidad para soportar la instalación del sistema.

Se presentan a continuación diferentes alternativas de sistemas operativos que cumplen con la características mencionada y suficientes para albergar el sistema:

- Windows server 2019
- Red Hat Enterprise 8
- Ubuntu server 19.04

4.2.1.2. Lenguaje de desarrollo

El lenguaje de desarrollo debe de cumplir con las siguientes características:

- Soporte para conexión a base de datos
- Facilidad para el desarrollo
- En continua mejora
- Fácil de administrar
- Contar con algún framework web

Se presenta a continuación una lista de lenguajes de desarrollo que cumplen dichas características:

- Java
- Python
- C#
- Ruby

4.2.1.3. Sistema gestor de base de datos

Este es un factor muy importante ya que determinará como se almacenaran la información del sistema, por lo tanto debe cumplir con las siguientes características:

- Escalable
- Seguro
- Soporte para grandes cantidades de información
- Soporte para conexión con distintos lenguajes de programación

Se presenta a continuación una lista de sistemas gestores de bases de datos que cumplen dichas características:

- MySQL
- MariaDB
- Oracle database
- MongoDB Atlas
- DynamoDB
- Apache Cassandra

Las características de los equipos de cómputo con los que se dispone actualmente para el desarrollo del sistema se muestran en la tabla [4.2](#).

De lo anterior se concluye que la tecnología para el desarrollo del sistema existe y se cuenta con los recursos de hardware suficientes para iniciar con su implementación.

Equipo	Elemento	Capacidad
Laptop 1	Memoria RAM	8 GB
	Almacenamiento	500 GB HDD
	Procesador	Intel Core i5 6ta gen.
Laptop 2	Memoria RAM	8 GB
	Almacenamiento	256 GB SSD
	Procesador	Intel Core i5 8va gen.

Tabla 4.2: Equipo de cómputo

Parámetro	Cuenta	Factores de ponderación			Total
		baja	media	alta	
Entradas	6	3	4	6	36
Salida	5	4	5	7	25
Tablas	1	3	4	6	4
Interfaces	4	7	10	15	40
Consultas	4	5	7	10	28
Conteo total					133

Tabla 4.3: Cálculo de las métricas por puntos de función

4.2.2. Factibilidades económica

De acuerdo con Pressman en *Ingeniería de software, un enfoque práctico*[49], en su sección de estimación, se utiliza una metrica por puntos de función como se muestra en la tabla 4.3. Es por este medio que se calcula(estima) el costo total del proyecto incluyendo los salarios de los desarrolladores que llevaran a cabo la implmentación del sistema asi como los gastos por pagos de servicios que sean necesarios.

4.2.2.1. Métricas orientas a la función

Para este proyecto se considera que todas las funciones identificadas son de complejidad media con excepción de las entradas que tiene la complejidad mas alto del sistema.

Fi (i = 1..14) son factores de ajuste de valor basados en las respuestas de las preguntas de la tabla 4.4. Los valores pueden ir de 0 (no importante o aplicable) a 5 (absolutamente esencial).

4.2.2.2. Puntos de función

La fórmula para obtener los punto de función con los factores de ajuste es la siguiente:

$$PF = \text{conteo total} * (0.65 + (0.01 * \sum Fi))$$

sustituyendo los valores del conteo total y los factores de ajuste

Pregunta	Ponderación
¿Requiere el sistema métodos de seguridad y recuperación fiables ?	3
¿Se requiere comunicación de especializada?	5
¿Existen funciones de procesamiento distribuido?	2
¿Es crítico el rendimiento?	4
¿Se ejecutará el sistema en un entorno operativo existente y fuertemente utilizado?	4
¿Requiere el sistema un entrada de datos interactiva?	5
¿Requiere la entrada de datos interactiva que las transacciones de entrada se llevan a cabo sobre múltiples operaciones?	5
¿Se actualizan los archivos maestros de forma interactiva?	3
¿Son complejas las entrada, salidas, archivos o consultas?	4
¿Es complejo el procesamiento interno?	4
¿Se ha diseñado el código para ser reutilizable?	4
¿Están incluidas en el diseño la instalación y conversión?	3
¿Se ha diseñado el sistema para soportar múltiples instalaciones en diferentes organizaciones?	4
¿Se ha diseñado el sistema para facilitar los cambios y para ser fácilmente utilizable?	4
$\sum Fi =$	54

Tabla 4.4: Factores de ajuste

$$PF = 133 * (0.65 + (0.01 * 54)) PF = 158.27 \approx 159 \quad (4.1)$$

De lo anterior se obtiene **159** puntos de función aproximadamente. Una vez obtenidos utilizando la llamada “Ball-Park” o “Estimación Indicativa” es la técnica de macro-estimación que se utiliza en situaciones de falta de información sobre el proyectos. El autor del artículo “Applied Software Measurement”[50], Carper Jones propone la siguiente ecuación para determinar el esfuerzo de desarrollo de un proyecto:

$$Esfuerzo = \left(\frac{PF}{150}\right) * PF^{0.4}$$

Donde:

PF : Puntos de función

Sustituyendo los valores tenemos:

$$Esfuerzo = \left(\frac{159}{150}\right) * 159^{0.4} Esfuerzo = 8.05 meses$$

De estos 8.05 meses, considerando un total de 40 horas a la semana de trabajo y 4.34 semanas por mes tenemos un total de horas para el desarrollo y conclusión del proyecto de :

$$\text{Tiempo de desarrollo} = 40 * 4.34 * 8.05 \text{ Tiempo de desarrollo} = 1397.48 \approx 1398 \text{ horas}$$

Es decir, una única persona trabajando en el desarrollo del proyecto debería invertir 1398 horas con una jornada de 8 horas diarias de lunes a viernes hasta su finalización, por lo que si suponemos un equipo de desarrollo de 2 personas con un horario de lunes a viernes de 4 horas diarias en 8.05 meses habría concluido el proyecto.

4.2.3. Costos de desarrollo

De acuerdo con Software Guru[51], en una publicación que recopila los datos de salarios en el área del desarrollo de software para febrero de 2020, un desarrollador con 0 a 2 años de experiencia como es el caso de un estudiante tiene en un sueldo de 15,000 mensuales para una jornada completa, considerando que este proyecto contempla jornadas de medio tiempo (4 horas) de lunes a viernes la cifra antes mencionada se reduce. Teniendo en cuenta estos datos y un periodo de 9 meses que es el tiempo aproximado de duración del proyecto tenemos como costo total por sueldos para el equipo de desarrollo desglosado de la tabla 4.5.

Esto da como resultado un total final de \$ 135000 por los sueldos de los 2 integrantes del equipo de desarrollo. Se consideraron 9 meses para todos los gastos, un mes extra a la obtenida en estimación para utilizarse en el caso de estudio del sistema una vez concluido.

Concepto	Costo Aprox. semanal	Costo Aprox. Mensual	Monto total
Sueldo	1850	7500	67500

Tabla 4.5: Costos del personal

Software	Licencia	Costo
Visual Studio Code	MIT	0
Gunicorn(flask Server)	MIT	0
MongoDB Atlas	Apache v2	0

Tabla 4.6: Costos por licencias de software

Los gastos por pagos de licencia de software quedan excluidos ya que las tecnologías seleccionadas son libres o gratuitas lo cual no supone un costo para su uso, de igual manera en la tabla 4.6 se ejemplifican.

Otros gastos que necesarios son los pagos por servicios requeridos listados en la tabla 4.7

Realizando la suma de todas las cantidades antes mencionadas tenemos un total final de :

$$\text{suelos} = 135000.00 \text{ servicios} = (2250 + 3141) * 9 = 48519.00$$

$$\text{Gastos totales} = 135000.00 + 48519.00 = 183519.00 \text{ pesos mexicanos}$$

Factibilidad operativa

La factibilidad operativa permite predecir de cierta forma si el sistema propuesto podrá ponerse en marcha, aprovechando todos los beneficios que puede ofrecer a todos los usuarios involucrados en ella. La herramienta va dirigida a los estudiante que se encuentre en un primer acercamiento a los modelos de bases de datos entidad-relación o relacional desde un enfoque conceptual, buscando principalmente mostrarles una aproximación a los modelos no relacionales de bases de datos. El sistema propuesto cuenta con una interfaz intuitiva para que el usuario final(estudiantes) pueda visualizar, crear y editar un diagrama ER y las opciones que ésta les brinde de manera comprensible.

Es por estos motivos que el sistema propuesto tiene una alta probabilidad de aceptación por parte de los usuarios finales al encontrarse en un entorno en el que se trabaja con software continuamente. Además del beneficio que aporta al plan de estudios actual al ofrecer una forma practica de ver aplicado los conceptos recibidos

Concepto	Costo Mensual	Monto total
Luz	250	2250
Internet	349	3141
Heroku hosting	0 (free plan)	0
Netlify hosting	0 (free plan)	0

Tabla 4.7: Costos por servicios

en el curso de base de datos, el cuál solo contempla un alcance hasta la normalización de bases de datos relacionales, y tener una introducción a los modelos no relacionales (noSQL). Al haber cursado la misma asignatura por experiencia nos hemos dado cuenta que el tiempo disponible durante el curso es ajustado con la cantidad de módulos que pretender cubrir y en muchas ocasiones los docentes deben prescindir de ciertos temas para completar el temario.

Con la implantación de la aplicación web que proponemos los estudiantes que cursen la asignatura de base de datos tendrán la oportunidad de conocer una opción mas en cuanto a tecnologías de almacenamiento de datos para implementar en sus propios sistemas. De igual manera puede impulsarlos a generar propuestas para la apertura de una asignatura optativa si el interés por estos modelos de datos resulta interesante para ellos.

Teniendo en cuenta los puntos mencionados anteriormente podemos concluir que el sistema propuesto tendrá un uso en la institución y un potencial beneficio para los estudiantes y los involucrados en ella.

Capítulo 5

Algoritmos

5.1. Validación estructural diagrama entidad-relación

De acuerdo con Dullea[7], un modelo ER está compuesto por entidades, las relaciones entre entidades y restricciones en esas relaciones.

Las entidades pueden estar encadenadas en una serie de entidades y relaciones alternas, o pueden participar singularmente con una o más relaciones.

La conectividad de entidades y relaciones se denomina ruta. Las rutas son los bloques de construcción de nuestro estudio en el análisis de validez estructural.

Las rutas definen visualmente la asociación semántica y estructural que cada entidad tiene simultáneamente con todas las demás entidades o consigo misma dentro de la ruta.

Los términos, validez estructural y semántica, se definen de la siguiente manera.

Definition 5.1.1. Un diagrama de entidad-relación es estructuralmente válido solo cuando la consideración simultánea de todas las restricciones estructurales impuestas en el modelo no implica una inconsistencia lógica en ninguno de los posibles estados. Un diagrama de entidad-relación es semánticamente válido solo cuando cada relación representa exactamente el concepto del modelador del dominio del problema. Un diagrama de entidad-relación es válido cuando es válido semántica y estructuralmente.

En el modelado de datos, la validez se puede clasificar en dos tipos: validez semántica y estructural. Un ERD semánticamente válido muestra la representación correcta del dominio de aplicación que se está modelando.

El diagrama debe comunicar exactamente el concepto previsto del entorno tal como lo ve el modelador. Dado que la validez semántica depende de la aplicación, no podemos definir criterios de validez generalizados.

Por lo tanto, no se considerará la validez semántica.

La validez estructural de un ERD se refiere a si un ERD dado contiene o no construcciones que son contradictorias entre sí. Un ERD con al menos una restricción de cardinalidad inconsistente es estructuralmente inválido.

Un ERD representa la semántica de la aplicación en términos de restricciones de cardinalidad máxima y mínima. La fuerza impulsora detrás de la colocación de la restricción de cardinalidad es la semántica del modelo.

Cada conjunto de restricciones de cardinalidad en una sola relación debe ser coherente con todas las restricciones restantes en el modelo y en todos los estados posibles

Una relación recursiva, es decir, la asociación entre grupos de roles dentro de una sola entidad, se evalúa como un objeto conceptual independiente.

Es semánticamente inválido cuando el concepto no refleja las reglas de negocio definidas por la comunidad de usuarios.

Una relación recursiva es estructuralmente inválida cuando las restricciones de participación y cardinalidad no respaldan la existencia de instancias de datos como lo requiere el usuario y hace que todo el diagrama sea inválido.

En general, un diagrama estructuralmente inválido refleja reglas de negocio semánticamente inconsistentes. Para que un modelo sea válido, todas las rutas del modelo también deben ser válidas.

Relaciones recursivas

Una relación recursiva se define como una asociación entre instancias a medida que asumen roles dentro de la misma entidad. Los roles juegan un papel importante en el examen de la validez estructural, especialmente para las relaciones recursivas.

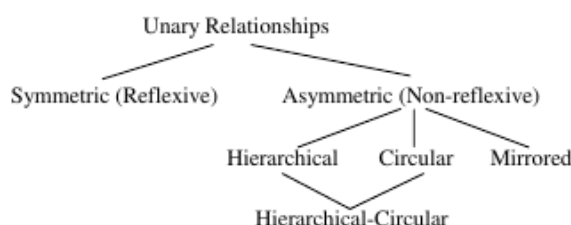


Figura 5.1: Taxonomía de relaciones recursivas

Un rol es la acción o función que desempeñan las instancias de una entidad en una relación. En una relación recursiva, un conjunto de instancias puede asumir un solo rol o múltiples roles dentro de la misma relación.

Examinar estos roles permite clasificar todas las relaciones recursivas en asociaciones simétricas o asimétricas, mientras que clasificamos aún más los tipos de relaciones asimétricas en asociaciones jerárquicas, circulares y duplicadas.

La clasificación completa de las relaciones recursivas que consideramos en este artículo se muestra en la figura 5.1 como sigue.

Una relación recursiva es simétrica o reflexiva cuando todas las instancias que participan en la relación toman un solo papel y el significado semántico de la relación es exactamente el mismo para todas las instancias que participan en la relación independientemente de la dirección en la que se ve. Estos tipos de relación se denominan

Tipo de relación		Dirección de la relación	Restricción de participación	Restricciones de cardinalidad	Ejemplo	
					Relación	Roles
Simétrica (reflexiva)		Bidireccional	Opcional-opcional Obligatoria-obligatoria	1-1 M-N	Cónyuge de	Persona
Asimétrica (no reflexiva)	Jerárquica	Unidireccional	Opcional-opcional	1-M 1-1	Supervisa Es supervisado por	Gerente- empleado
			Opcional-opcional Opcional-obligatoria Obligatoria-obligatoria	M-N	Supervisa Es supervisado por	Gerente Empleado
			Opcional-opcional Obligatoria-obligatoria	1-1	Apoya Es apoyado por	Servicio técnico
	Jerárquica Circular	Unidireccional	Opcional-opcional Opcional-obligatoria	1-M	Apoya Es apoyado por	Responsable
			Opcional-opcional Opcional-obligatoria Obligatoria-obligatoria	M-N	Supervisa	Gerente- empleado
	Reflejada	Unidireccional	Opcional-opcional	1-1	Gestiona Se gestiona	CEO

Tabla 5.1: Tipos de relación recursiva válidos según las restricciones de cardinalidad

bidireccionales.

Una relación recursiva es asimétrica o no reflexiva cuando hay una asociación entre dos grupos de roles diferentes dentro de la misma entidad y el significado semántico de la relación es diferente dependiendo de la dirección en la que se ven las asociaciones entre los grupos de roles. Estos tipos de relación se denominan unidireccionales.

Una relación recursiva es jerárquica cuando un grupo de instancias dentro de la misma entidad se clasifican en calificaciones, órdenes o clases, una encima de otra. Implica un comienzo (o arriba) y un final (o abajo) para el esquema de clasificación de instancias.

Una relación recursiva es circular cuando una relación recursiva asimétrica tiene al menos una instancia que no cumple con la jerarquía de clasificación. La relación es unidireccional, ya que se puede ver desde dos direcciones con un significado semántico diferente.

Otra pregunta que surge en el modelado de las relaciones recursivas es si una instancia puede asociarse consigo mismo.

Este evento es imposible en relaciones superiores al primer grado, pero podría ocurrir en casos especiales de una relación recursiva y llamamos a este evento especial una relación reflejada.

Una relación reflejada existe cuando la semántica de una relación permite que una instancia de una entidad se asocie a sí misma a través de la relación.

La tabla 5.1 resume cada relación recursiva por sus propiedades direccionales, la combinación de restricciones de cardinalidad mínima y máxima, y ejemplos. En nuestros diagramas a lo largo de este En el documento, utilizamos la notación uno (1) y muchos (M) para obtener la máxima cardinalidad, una sola línea para indicar la participación opcional y una línea doble para mostrar la participación obligatoria. Las palabras “obligatorio” y “opcional” se utilizan en la tabla para indicar la cardinalidad mínima obligatoria (o total) y opcional (o parcial), respectivamente. Además, la notación $|E|$ representa el número de instancias en la entidad E .


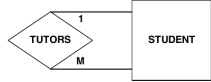
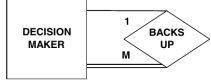
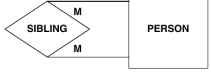
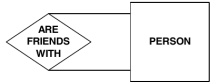
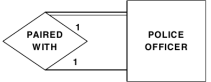
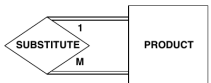
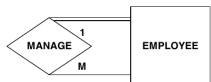
Reglas de validación para relaciones recursivas	Ejemplo válido
Solo las relaciones recursivas 1:1 con restricciones de cardinalidad mínimas obligatorias-obligatorias u opcionales son estructuralmente válidas. Válido para relaciones simétricas y completamente circular.	
Para las relaciones recursivas 1:M o M:1, la cardinalidad mínima opcional-opcional es estructuralmente válida. Válido solo para relaciones asimétricas.	
Para 1:M las relaciones recursivas del tipo jerárquico-circular, la cardinalidad mínima opcional-obligatoria son estructuralmente válidas. Válido solo para relaciones jerárquico-circulares.	
Todas las relaciones recursivas con cardinalidad máxima de muchos a muchos son estructuralmente válidas independientemente de las restricciones mínimas de cardinalidad. Válido para relaciones simétricas, jerárquicas y jerárquicas-circulares.	
Todas las relaciones recursivas con cardinalidad mínima opcional-opcional son estructuralmente válidas. Válido para relaciones simétricas y asimétricas.	
Colorarios de validez para relaciones recursivas	Ejemplo no válido
Todas las relaciones recursivas 1: 1 con restricciones de cardinalidad mínima obligatoria-opcional u opcional-obligatoria son estructuralmente inválidas.	
Todas las relaciones recursivas 1:M o M:1 con restricciones de cardinalidad mínimas obligatorias-obligatorias son estructuralmente inválidas.	
Todas las relaciones recursivas 1:M o M:1 con restricción de participación obligatoria en "uno" y una restricción de participación opcional en las "muchas" restricciones son estructuralmente inválidas.	

Tabla 5.2: Resumen de reglas de validez para relaciones recursivas con ejemplos

A continuación se pone un resumen de las reglas válidas para relaciones unarias y binarias:

Generales

1. No puede haber elementos sin conectar.
2. Tampoco puede haber enlaces sin conectar.
3. Solo relación de participación binarias ?????

Entidad

1. Una entidad es válida si tiene atributos, porque no tiene propósito una entidad sin atributos.
2. La clave primaria puede ser simple o compuesta.
3. La clave primaria no es una clave foranea.
4. La clave primaria debe ser un atributo clave asociado a la entidad. (restricción del proyecto, para facilidad)

Reglas de validez para relaciones binarias.	Ejemplo válido
Una ruta cíclica que contiene todas las relaciones binarias siempre es estructuralmente válida.	
Una ruta cíclica que contiene todas las relaciones binarias y una o más relaciones opcional-opcional siempre es estructuralmente válida.	
Una ruta cíclica que contiene todas las relaciones binarias y una o más relaciones de muchos a uno con participación opcional del lado "uno" siempre es estructuralmente válida.	
Una ruta cíclica que contiene todas las relaciones binarias y una o más relaciones de muchos a muchos es siempre estructuralmente válida.	
Las rutas cíclicas que contienen al menos un conjunto de relaciones opuestas siempre son válidas.	
Una ruta cíclica que contiene todas las relaciones binarias uno a uno que son todas obligatorias-obligatorias o al menos una restricción de cardinalidad mínima opcional-opcional siempre es estructuralmente válida.	
Validez corolarios para relaciones binarias	Ejemplo no válido
Las rutas cíclicas que no contienen relaciones opuestas ni relaciones autoajustables son estructuralmente inválidas y se denominan relaciones circulares.	
La presencia de una relación "uno a uno obligatorio-obligatorio" no tiene ningún efecto sobre la validez estructural (o invalidez) de una ruta cíclica que contiene otros tipos de relación. (Este corolario se aplica a todas las reglas anteriores).	

Tabla 5.3: Resumen de reglas de validez para relaciones binarias con ejemplos

-
5. Dos entidades solo pueden estar conectadas entre sí mediante una relación.
 6. Todas las entidades deben tener un atributo clave

Entidad débil

1. Un atributo solo puede estar asociado a un solo atributo o a una sola entidad.
2. Una entidad débil no puede existir si no tiene una relación con otra entidad.

Atributo

1. Un atributo solo puede estar asociado a un solo atributo o a una sola entidad.
2. Un atributo puede ser compuesto.
3. Un atributo puede ser multivalor.
4. Un atributo puede ser derivado.
5. Un atributo debe tener un nombre.
6. Un atributo no puede usar una relación para asociarse a otro elemento.
7. Un atributo compuesto solo puede estar asociado a una entidad.
8. Un atributo derivado solo puede estar asociado a una entidad.

Relación

1. Una relación solo puede ser entre entidades.
2. El grado de participación máximo es dos. (restricción del proyecto)
3. Una relación puede ser unaria (recursiva).
4. No están permitidas relaciones ternarias o de grado n (restricción del proyecto)

5.2. Modelo entidad-relación a relacional

Elmasri[14] propone un algoritmo en siete pasos para convertir las estructuras de un modelo ER básico con tipos de entidades fuertes y débiles, relaciones binarias con distintas restricciones estructurales, relaciones n-ary y atributos (simples, compuestos y multivalor) en relaciones.

Paso 1: Mapeado de los tipos de entidad regulares

Por cada entidad (fuerte) regular E del esquema ER cree una relación R que incluya todos los atributos simples de E .

Incluya únicamente los atributos simples que conforman un atributo compuesto; seleccione uno de los atributos clave de E como clave principal para R .

Si la clave elegida de E es compuesta, el conjunto de los atributos simples que la forman constituirán la clave principal de R .

Si durante el diseño conceptual se identificaron varias claves para E , la información que describe los atributos que forman cada clave adicional conserva su orden para especificar las claves (únicas) secundarias de la relación R .

El conocimiento sobre las claves también es necesario para la indexación y otros tipos de análisis.

Paso 2: Mapeado de los tipos de entidad débiles

Por cada tipo de entidad débil W del esquema ER con el tipo de entidad propietario E , cree una relación R e incluya todos los atributos simples (o componentes simples de los atributos compuestos) de W como atributos de R .

Además, incluya como atributos de la *foreign key* de R , los atributos de la o las relaciones que correspondan al o los tipos de entidad propietarios; esto se encarga de identificar el tipo de relación de W .

La clave principal de R es la combinación de las claves principales del o de los propietarios y la clave parcial del tipo de entidad débil W si la hubiera.

Si hay un tipo de entidad débil E_2 cuyo propietario también es un tipo de entidad débil E_1 , E_1 debe asignarse antes que E_2 para determinar primero su clave principal.

Paso 3: Mapeado de los tipos de relación 1:1 binaria

Por cada tipo de relación 1:1 binaria R del esquema ER, identifique las relaciones S y T que corresponden a los tipos de entidad que participan en R . Hay tres metodologías posibles: (1) la metodología de la *foreign key*, (2) la metodología de la relación mezclada y (3) la metodología de referencia cruzada o relación de relación. La primera metodología es la más útil y la que debe seguirse salvo que se den ciertas condiciones especiales, como las que explicamos a continuación:

- 1 Metodología de la *foreign key*:** seleccione una de las relaciones (por ejemplo, S) e incluya como *foreign key* en S la clave principal de T . Lo mejor es elegir un tipo de entidad con participación total en R en el papel de S . Incluya todos los atributos simples (o los componentes simples de los atributos compuestos) del tipo de relación 1:1 R como atributos de S .
- 2 Metodología de la relación mezclada:** una asignación alternativa de un tipo de relación 1:1 es posible al mezclar los dos tipos de entidad y la relación

en una sola relación. Esto puede ser apropiado cuando las dos participaciones son totales.

3 Metodología de referencia cruzada o relación de relación: consiste en configurar una tercera relación R con el propósito de crear una referencia cruzada de las claves principales de las relaciones S y T que representan los tipos de entidad. Como veremos, esta metodología es necesaria para las relaciones $M : N$ binarias. La relación R se denomina relación de relación (y, en algunas ocasiones, tabla de búsqueda), porque cada tupla de R representa una instancia de relación que relaciona una tupla de S con otra de T .

Paso 4: Mapeado de tipos de relaciones 1:N binarias

Por cada relación $1 : N$ binaria regular R , identifique la relación S que representa el tipo de entidad participante en el lado N del tipo de relación.

Incluya como *foreign key* en S la clave principal de la relación T que representa el otro tipo de entidad participante en R ; hacemos esto porque cada instancia de entidad en el lado N está relacionada, a lo sumo, con una instancia de entidad del lado 1 del tipo de relación.

Incluya cualesquiera atributos simples (o componentes simples de los atributos compuestos) del tipo de relación $1 : N$ como atributos de S .

De nuevo, una metodología alternativa es la opción de relación de relación (referencia cruzada), como en el caso de las relaciones 1:1 binarias.

Creamos una relación R separada cuyos atributos son las claves de S y T , y cuya clave principal es la misma que la clave de S . Esta opción puede utilizarse si pocas tuplas de S participan en la relación para evitar excesivos valores NULL en la *foreign key*.

Paso 5: Mapeado de tipos de relaciones M:N binarias

Por cada tipo de relación $M : N$ binaria R cree una nueva relación S para representar a R .

Incluya como atributos de la *foreign key* en S las claves principales de las relaciones que representan los tipos de entidad participantes; su combinación formará la clave principal de S .

Incluya también cualesquiera atributos simples del tipo de relación $M : N$ (o los componentes simples de los atributos compuestos) como atributos de S .

No podemos representar un tipo de relación $M : N$ con un atributo de *foreign key* en una de las relaciones participantes (como hicimos para los tipos de relación $1 : 1$ o $1 : N$) debido a la razón de cardinalidad $M : N$; debemos crear una relación de relación S separada.

Siempre podemos asignar las relaciones $1 : 1$ o $1 : N$ de un modo similar a las relaciones $M : N$ utilizando la metodología de la referencia cruzada (relación de relación), como explicamos anteriormente.

Esta alternativa es particularmente útil cuando existen pocas instancias de relación, a fin de evitar valores NULL en las *foreign keys*.

En este caso, la clave principal de la relación de relación sólo será una de las *foreign keys* que hace referencia a las relaciones de entidad participantes.

Para una relación $1 : N$, la clave principal de la relación de relación será la *foreign key* que hace referencia a la relación de la entidad en el lado N .

En una relación $1 : 1$, cada *foreign key* se puede utilizar como la clave principal de la relación de relación, siempre y cuando no haya entradas NULL en la relación.

Paso 6: Mapeado de atributos multivalor

Por cada atributo multivalor A , cree una nueva relación R .

Esta relación incluirá un atributo correspondiente a A , más el atributo clave principal K (como *foreign key* en R) de la relación que representa el tipo de entidad o tipo de relación que tiene A como un atributo.

La clave principal de R es la combinación de A y K . Si el atributo multivalor es compuesto, incluimos sus componentes simples.

Paso 7: Mapeado de los tipos de relación n-ary

Por cada tipo de relación n-ary R , donde $n > 2$, cree una nueva relación S para representar R .

Incluya como atributos de la *foreign key* en S las claves principales de las relaciones que representan los tipos de entidad participantes.

Incluya también cualesquiera atributos simples del tipo de relación n-ary (o los componentes simples de los atributos compuestos) como atributos de S .

Normalmente, la clave principal de S es una combinación de todas las *foreign keys* que hacen referencia a las relaciones que representan los tipos de entidad participantes.

No obstante, si las restricciones de cardinalidad en cualquiera de los tipos de entidad E que participan en R es 1, entonces la clave principal de S no debe incluir el atributo de la *foreign key* que hace referencia a la relación E' correspondiente a E .

Correspondencia entre los modelos ER y relacional

Tabla 5.4: Correspondencia entre los modelos ER y relacional.

Modelo entidad-relación	Modelo relacional
Tipo de entidad	Relación de entidad
Tipo de relación $1 : 1$ o $1 : N$	<i>foreign key</i> (o relación de relación)
Tipo de relación $M : N$	Relación de relación y dos <i>foreign keys</i>

Tabla 5.4 – continued from previous page

Modelo entidad-relación	Modelo relacional
Tipo de relación n-ary	Relación de relación y <i>n foreign keys</i>
Atributo simple	Atributo
Atributo compuesto	Conjunto de atributos simples
Atributo multivalor	Relación y <i>foreign key</i>
Conjunto de valores	Dominio
Atributo clave	Clave principal (o secundaria)

5.3. Obtención de esquema SQL desde modelo relacional

5.4. Modelo entidad-relación a Generic Data Metamodel

El algoritmo necesita ser basado en queries como el de Chebotko.

input: modelo entidad-relacion

output: ¿modelo orientado a documentos o GDM?

¿Qué definición del modelo orientado a documentos se usará? ¿El del GDM o el de De Lima?

¿Cómo convertir las relaciones? Hay reglas para convertir las relaciones en bloques del documento orientado a objetos.

5.5. Generic Data Metamodel a modelo lógico NoSQL

Un *DocumentType* es la estructura principal que se guardará en la colección.

Sea Q el conjunto de todas las queries q_n en una instancia GDM:

$$Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\} \text{ donde } n = 1, 2, \dots$$

Sea E_f el conjunto de entidades formado al consultar el único elemento from de cada q_n ($q_{n.from}$ de Q):

$$E_f = \{e_{f1}, e_{f2}, \dots, e_{fn}\} \text{ donde } n = 1, 2, \dots$$

Sea C el conjunto de colecciones c_n donde cada c_n corresponde a un e_{fn} de E_f (es decir que por cada e_{fn} se crea un c_n en la que cada c_n contiene un único elemento *DocumentType*, llamado “documento raíz”):

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\} \text{ donde } n = 1, 2, \dots$$

Finalmente, por cada c_n se generan los contenidos de cada documento raíz:

Como cada colección c_n es creada a partir de una única entidad e_{fn} , se necesita buscar del conjunto Q todas las q_n que contengan esa e_{fn} como entidad de búsqueda principal (es decir, que e_{fn} esté en el elemento *from* de la q_n).

Dicho de otra manera, sea el conjunto Q_E el subconjunto propio de Q en el que cada q_{en} contiene en su elemento *from* la e_{fn} .

$$Q_E = \{q_{e1}, q_{e2}, \dots, q_{en}\} \text{ donde } Q_E \subseteq Q | q_{en.from} == e_{fn}$$

Por cada q_{en} se consulta todos sus elementos *including*, a cada elemento *including* le llamamos r_n para formar el conjunto R de referencias.

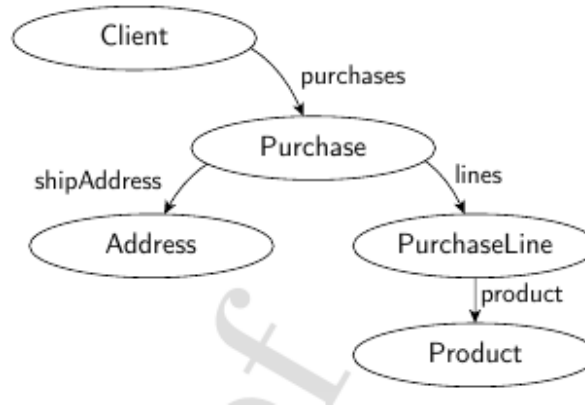


Figura 5.2: Access Tree - Modelo lógico orientado a documentos

```

query Q4_clientPurchasesNearChristmas:
select
  client.clientId, client.name,
  client.nationality,
  purchases.purchaseId, purchases.year,
  purchases.month, purchases.day,
  lines.quantity, lines.unitPrice,
  product.name, address.postalCode
from Client as client
including
  client.purchases as purchases,
  client.purchases.lines as lines,
  client.purchases.lines.product as product,
  client.purchases.shipAddress as address
where client.clientId = "71" and purchases.year = "72"
and purchases.month >= 10
order by purchases.month, product.price

```

Figura 5.3: Access query Q4

Creamos un árbol de acceso con el conjunto R y con ese árbol de acceso generamos los documentos de cada documento raíz de cada c_n que tiene una única e_{fn} .

La figura 5.2 es un ejemplo del árbol de acceso de la consulta q_4 de la figura 5.3.

Añadimos todos los atributos simples de la e_{fn} .

Cada r_n lo añadimos al documento raíz de acuerdo a 1) la cardinalidad de la referencia y 2) la entidad objetivo de la referencia

Si la entidad destino está dentro del árbol de consultas implica que datos de esa entidad serán requeridos en la consulta, por lo que el nuevo *field* deberá ser incluido como un subdocumento o una colección de documentos, dependiendo de su cardinalidad.

En contraparte, si la entidad destino no está en el árbol de consultas, se podría quitar esa referencia, pero se agregará para mejorar la escalabilidad de la base de datos para futuras consultas. Esta referencia tendría el valor del identificador de la entidad referenciada cuando la cardinalidad es 1. Si la cardinalidad es n , será un arreglo de identificadores.

Cuando una referencia es transformada a un subdocumento se vuelve a generar su árbol de acceso en una llamada recursiva para generar sus contenidos.

Por último, el autor menciona dos optimizaciones si se quiere reducir el nivel de denormalización, las que se pueden consultar en su investigación[8].

En resumen, el algoritmo quedaría de la forma:

Algorithm 1: Transformación del modelo conceptual GDM al modelo lógico orientado a documentos

Input : una instancia del modelo GDM, gdm
Output: un modelo lógico orientado a documentos, ddm

```
1  $mainEntities \leftarrow gdm.queries.collect((q)|q.from);$   
2 foreach  $me \in mainEntities$  do  
3    $collection \leftarrow newCollection();$   
4    $collection.name \leftarrow me.name;$   
5    $accessTree \leftarrow allQueryPaths(me, gdm.queries);$   
6    $collection \leftarrow populateDocumentType(collection.root, accessTree);$   
7    $ddm.collections.add(collection);$   
8 end
```

Donde la función `populateDocumentType()` es otro algoritmo de la forma:

5.6. Modelo lógico NoSQL a modelo físico en MongoDB

Algorithm 2: Generar el contenido de un *DocumentType* dado un árbol de acceso

Input : Un “document type”, *dt*
Output: un nodo del arbol de acceso

```
1 nodeAttributes  $\leftarrow$  node.entity.features.select(f|f.isTypeOf(Attribute))
2 nodeReferences  $\leftarrow$ 
   node.entity.features.select(f|f.isTypeOf(Reference))
3 foreach attr  $\in$  nodeAttributes do
4   | pf  $\leftarrow$  newPrimitiveField()
5   | pf.name  $\leftarrow$  attr.name
6   | pf.type  $\leftarrow$  attr.type
7   | dt.fields.add(pf)
8 end
9 foreach ref  $\in$  nodeReferences do
10  | targetNode  $\leftarrow$  node.arcs.find(a|a.name = ref.name).target
11  | if exists(targetNode) then
12  |   | baseType  $\leftarrow$  newDocumentType()
13  |   | populateDocumentType(baseType, targetNode)
14  | else
15  |   | baseType  $\leftarrow$  newPrimitiveField()
16  |   | baseType.type  $\leftarrow$  findIdType(ref.entity)
17  | end
18  | baseType.name  $\leftarrow$  ref.name
19  | if ref.cardinality == 1 then
20  |   | dt.field.add(baseType)
21  | else
22  |   | arrayField  $\leftarrow$  newArrayField()
23  |   | arrayField.type  $\leftarrow$  baseType
24  |   | dt.fields.add(arrayField)
25  | end
26 end
```

Apéndice A

Apéndice

A.1. Unified Modeling Language

De acuerdo con Wikipedia[52], un diagrama de clases en Lenguaje Unificado de Modelado (UML) es un tipo de diagrama de estructura estática que describe la estructura de un sistema mostrando las clases del sistema, sus atributos, operaciones (o métodos), y las relaciones entre los objetos.

Miembros

UML proporciona mecanismos para representar los miembros de la clase, como atributos y métodos, así como información adicional sobre ellos.

Visibilidad

Para especificar la visibilidad de un miembro de la clase (es decir, cualquier atributo o método), se coloca uno de los siguientes signos delante de ese miembro:

1. + Público
2. - Privado
3. # Protegido
4. / Derivado (se puede combinar con otro)
5. Paquete

Ámbitos

UML especifica dos tipos de ámbitos para los miembros: instancias y clasificadores y estos últimos se representan con nombres subrayados.

-
1. Los miembros clasificadores se denotan comúnmente como “estáticos” en muchos lenguajes de programación. Su ámbito es la propia clase.
 - a) Los valores de los atributos son los mismos en todas las instancias.
 - b) La invocación de métodos no afecta al estado de las instancias.
 2. Los miembros instancias tienen como ámbito una instancia específica.
 - a) Los valores de los atributos pueden variar entre instancias.
 - b) La invocación de métodos puede afectar al estado de las instancias (es decir, cambiar el valor de sus atributos).

Para indicar que un miembro posee un ámbito de clasificador, hay que subrayar su nombre. De lo contrario, se asume por defecto que tendrá ámbito de instancia.

Relaciones

Una relación es un término general que abarca los tipos específicos de conexiones lógicas que se pueden encontrar en los diagramas de clases y objetos. UML presenta las siguientes relaciones:

Enlace

Un enlace es la relación más básica entre objetos.

Asociación

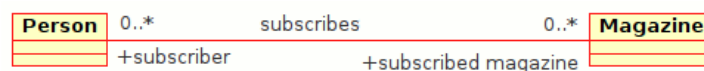


Figura A.1: Asociación

Una asociación representa a una familia de enlaces. Una asociación binaria (entre dos clases) normalmente se representa con una línea continua. Una misma asociación puede relacionar cualquier número de clases. Una asociación que relacione tres clases se llama asociación ternaria.

A una asociación se le puede asignar un nombre, y en sus extremos se puede hacer indicaciones, como el rol que desempeña la asociación, los nombres de las clases relacionadas, su multiplicidad, su visibilidad, y otras propiedades.

Hay cuatro tipos diferentes de asociación: bidireccional, unidireccional, agregación (en la que se incluye la composición) y reflexiva. Las asociaciones unidireccional y bidireccional son las más comunes.

Por ejemplo, una clase vuelo se asocia con una clase avión de forma bidireccional. La asociación representa la relación estática que comparten los objetos de ambas clases.

Agregación

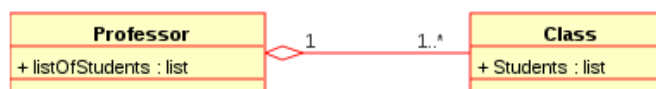


Figura A.2: Agregación

La agregación o agrupación es una variante de la relación de asociación “tiene un”: la agregación es más específica que la asociación. Se trata de una asociación que representa una relación de tipo parte-todo o parte-de.

Como se puede ver en la imagen del ejemplo (en inglés), un Profesor ‘tiene una’ clase a la que enseña.

Al ser un tipo de asociación, una agregación puede tener un nombre y las mismas indicaciones en los extremos de la línea. Sin embargo, una agregación no puede incluir más de dos clases; debe ser una asociación binaria.

Una agregación se puede dar cuando una clase es una colección o un contenedor de otras clases, pero a su vez, el tiempo de vida de las clases contenidas no tienen una dependencia fuerte del tiempo de vida de la clase contenedora (de el todo). Es decir, el contenido de la clase contenedora no se destruye automáticamente cuando desaparece dicha clase.

En UML, se representa gráficamente con un rombo hueco junto a la clase contenedora con una línea que lo conecta a la clase contenida. Todo este conjunto es, semánticamente, un objeto extendido que es tratado como una única unidad en muchas operaciones, aunque físicamente está hecho de varios objetos más pequeños.

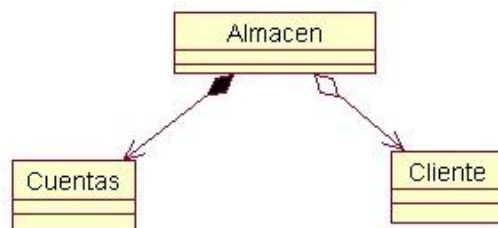


Figura A.3: Asociación rombo sin rellenar y composición rombo negro

Composición

La representación en UML de una relación de composición es mostrada con una figura de diamante rellenado del lado de la clase contenedora, es decir al final de la línea que conecta la clase contenido con la clase contenedor.

Diferencias entre Composición y Agregación

Relación de Composición

-
1. Cuando intentamos representar un todo y sus partes. Ejemplo, un motor es una parte de un coche.
 2. Cuando se elimina el contenedor, el contenido también es eliminado. Ejemplo, si eliminamos una universidad eliminamos igualmente sus departamentos.

Relación de Agrupación

1. Cuando representamos las relaciones en un software o base de datos. Ejemplo, el modelo de motor MTR01 es parte del coche MC01. Como tal, el motor MTR01 puede hacer parte de cualquier otro modelo de coche, es decir si eliminamos el coche MC01 no es necesario eliminar el motor pues podemos usarlo en otro modelo.
2. Cuando el contenedor es eliminado, el contenido usualmente no es destruido. Ejemplo, un profesor tiene estudiantes, cuando el profesor muere los estudiantes no mueren con él o ella.

A.2. El modelo entidad-relación extendido

De acuerdo a la bibliografía de Catherine[53], el modelo entidad-relación extendido (EE-R) extiende el modelo ER para permitir la inclusión de varios tipos de abstracción, y para expresar restricciones más claramente. A los diagramas ER estándar se agregan símbolos adicionales para crear diagramas EE-R que expresen estos conceptos.

Especialización

Con frecuencia, un conjunto de entidades contiene uno o más subconjuntos que tienen atributos especiales o que participan en relaciones que otros miembros del mismo conjunto de entidades no tiene.

El método de identificar subconjuntos de conjuntos de entidades existentes, llamado especialización, corresponde a la noción de herencia de subclase y clase en el diseño orientado a objetos, donde se representa mediante jerarquías de clase.

El círculo que conecta a la superclase con las subclases se llama círculo de especialización. Cada subclase se conecta al círculo mediante una línea que tiene un símbolo de herencia, un símbolo de subconjunto o copa, con el lado abierto de frente a la superclase. Las subclases heredan los atributos de la superclase y opcionalmente pueden tener atributos locales distintos.

Dado que cada miembro de una subclase es miembro de la superclase, al círculo de especialización a veces se le conoce como relación isa.

En ocasiones una entidad tiene solo un subconjunto con propiedades o relaciones especiales de las que quiere tener información. Solo contiene una subclase para una especialización. En este caso, en el diagrama EE-R se omite el círculo y simplemente se muestra la subclase conectada mediante una línea de subconjunto a la superclase.

Las subclases también pueden participar en relaciones locales que no se apliquen a la superclase o a otras subclases en la misma jerarquía.

Generalización

Además de la especialización, también se pueden crear jerarquías de clase al reconocer que dos o más clases tienen propiedades comunes e identificar una superclase común para ellas, un proceso llamado generalización. Estos dos procesos son inversos uno de otro, pero ambos resultan en el mismo tipo de diagrama jerárquico.

Restricciones

Las subclases pueden ser traslapantes (*overlapping*), lo que significa que la misma instancia de entidad puede pertenecer a más de una de las subclases, o desarticuladas (*disjoint*), lo que significa que no tienen miembros en común. A esto se le refiere como restricción de desarticulación (*disjointness*) y se expresa al colocar una letra adecuada, *d* u *o*, en el círculo de especialización. Una *d* indica subclases de desarticulación y una *o* indica subclases de traslapamiento.

Una especialización también tiene una restricción de completud (*completeness*), que muestra si todo miembro del conjunto de entidades debe participar en ella.

Si todo miembro de la superclase debe pertenecer a alguna subclase, se tiene una especialización total. Si a algunos miembros de la superclase no se les puede permitir pertenecer a alguna subclase, la especialización es parcial.

En algunas jerarquías de especialización es posible identificar la subclase a la que pertenece una entidad al examinar una condición o predicado específico para cada subclase, es decir, es una especialización definida por predicado, pues la membresía a la subclase está determinada por un predicado.

Algunas especializaciones definidas por predicado usan el valor del mismo atributo en el predicado definitorio para todas las subclases. Estas se llaman especializaciones definidas por atributo.

Las especializaciones que no están definidas por predicado se dice que son definidas por el usuario, pues el usuario es el responsable de colocar la instancia de entidad en la subclase correcta.

Jerarquías múltiples y herencia

Cuando el mismo conjunto de entidades puede ser una subclase de dos o más superclases, se dice que tal clase es una subclase compartida y tiene herencia múltiple de sus superclases.

Unión

Mientras que una subclase compartida representa un miembro de todas sus superclases y hereda atributos de todas ellas, una subclase se puede relacionar con

la de una colección, llamada unión o categoría de superclases, en vez de pertenecer a todas ellas. En este caso, una instancia de la subclase hereda solo los atributos de una de las superclases, dependiendo de a cuál miembro de la unión pertenece.

Las categorías pueden ser parciales o totales, dependiendo de si cada miembro de los conjuntos que constituyen la unión participan en ella.

A.3. Álgebra relacional

De acuerdo a Elmasri[14], el álgebra relacional es muy importante por varias razones. La primera, porque proporciona un fundamento formal para las operaciones del modelo relacional. La segunda razón, y quizá la más importante, es que se utiliza como base para la implementación y optimización de consultas en los RDBMS. Tercera, porque algunos de sus conceptos se han incorporado al lenguaje estándar de consultas SQL para los RDBMS.

Operaciones relacionales unarias

Selección

SELECCIÓN se emplea para seleccionar un subconjunto de las tuplas de una relación que satisfacen una condición de selección. Se puede considerar esta operación como un filtro que mantiene sólo las tuplas que satisfacen una determinada condición.

SELECCIÓN puede visualizarse también como una partición horizontal de la relación en dos conjuntos de tuplas: las que satisfacen la condición son seleccionadas y las que no, descartadas.

En general, SELECCIÓN está designada como:

$$\sigma \langle \text{condición de selección} \rangle (R)$$

donde el símbolo σ (sigma) se utiliza para especificar el operador de SELECCIÓN, mientras que la condición de selección es una expresión lógica (o booleana) especificada sobre los atributos de la relación R .

Observe que R es, generalmente, una expresión de álgebra relacional cuyo resultado es una relación: la más sencilla de estas expresiones es sólo el nombre de una relación de base de datos. El resultado de SELECCIÓN tiene los mismos atributos que R .

SELECCIÓN es unaria, es decir, se aplica a una sola relación. Además, esta operación se aplica a cada tupla individualmente; por consiguiente, las condiciones de selección no pueden implicar a más de una tupla.

El grado de la relación resultante de una operación SELECCIÓN (su número de atributos) es el mismo que el de R . El número de tuplas en la relación resultante es siempre menor que o igual que el número de tuplas en R .

Proyección

PROYECCIÓN selecciona ciertas columnas de la tabla y descarta otras. Si sólo estamos interesados en algunos atributos de una relación, usamos la operación PROYECCIÓN para planear la relación sólo sobre esos atributos.

Por consiguiente, el resultado de esta operación puede visualizarse como una partición vertical de la relación en otras dos: una contiene las columnas (atributos) necesarias y otra las descartadas.

La forma general de la operación PROYECCIÓN es:

$$\Pi \langle \text{lista de atributos} \rangle (R)$$

donde Π (π) es el símbolo usado para representar la operación PROYECCIÓN, mientras que $\langle \text{lista de atributos} \rangle$ contiene la lista de campos de la relación R que queremos.

De nuevo, observe que R es, en general, una expresión de álgebra relacional cuyo resultado es una relación, cuyo caso más simple es obtener sólo el nombre de una relación de base de datos.

El resultado de la operación PROYECCIÓN sólo tiene los atributos especificados en $\langle \text{lista de atributos} \rangle$ en el mismo orden a como aparecen en la lista. Por tanto, su grado es igual al número de atributos contenidos en $\langle \text{lista de atributos} \rangle$.

Si la lista de atributos sólo incluye atributos no clave de R , es posible que se dupliquen tuplas. La operación PROYECCIÓN elimina cualquier tupla duplicada, por lo que el resultado de la misma es un conjunto de tuplas y, por consiguiente, una relación válida. Esto se conoce como eliminación de duplicados.

Renombrar

Podemos definir una operación RENOMBRAR como un operador unario. Una operación RENOMBRAR aplicada a una relación R de grado n aparece denotada de cualquiera de estas tres formas

$$\rho_S(B_1, B_2, \dots, B_n) \text{ o } \rho_S(R) \text{ o } \rho_{(B_1, B_2, \dots, B_n)}(R)$$

donde el símbolo ρ (rho) se utiliza para especificar el operador RENOMBRAR, S es el nombre de la nueva relación y B_1, B_2, \dots, B_n son los de los nuevos atributos.

La primera expresión renombra tanto la relación como sus atributos, la segunda solo lo hace con la relación y la tercera solo con los atributos. Si los atributos de R son (A_1, A_2, \dots, A_n) por este orden, entonces cada A_i es renombrado como B_i .

Operaciones de álgebra relacional de la teoría de conjuntos

Para combinar los elementos de dos conjuntos se utilizan varias operaciones de la teoría de conjuntos, como la UNIÓN, la INTERSECCIÓN y la DIFERENCIA DE CONJUNTOS (llamada también a veces MENOS, o MINUS). Todas ellas son operaciones binarias, es decir, se aplican a dos conjuntos de tuplas.

Cuando se refieren a las bases de datos relacionales, las relaciones sobre las que se aplican estas tres operaciones deben tener el mismo tipo de tuplas; esta condición recibe el nombre de compatibilidad de unión.

Dos relaciones $R(A_1, A_2, \dots, A_n)$ y $S(B_1, B_2, \dots, B_n)$ se dice que son de unión compatible si tienen el mismo grado n y si $\text{dom}(A_i) = \text{dom}(B_i)$ para $1 \leq i \leq n$.

Esto significa que ambas relaciones tienen el mismo número de atributos y que cada par correspondiente cuenta con el mismo dominio.

Podemos definir las tres operaciones UNIÓN, INTERSECCIÓN y DIFERENCIA DE CONJUNTO en dos relaciones de unión compatible R y S del siguiente modo:

- UNIÓN El resultado de esta operación, especificada como $R \cup S$, es una relación que incluye todas las tuplas que están tanto en R como en S o en ambas, R y S . Las tuplas duplicadas se eliminan.
- INTERSECCIÓN El resultado de esta operación, especificada como $R \cap S$, es una relación que incluye todas las tuplas que están en R y en S .
- DIFERENCIA DE CONJUNTO (o MENOS). El resultado de esta operación, especificada como $R - S$, es una relación que incluye todas las tuplas que están en R pero no en S .

Producto cartesiano

Se trata también de una operación de conjuntos binarios, aunque no es necesario que las relaciones en las que se aplica sean una unión compatible. En su forma binaria produce un nuevo elemento combinando cada miembro (tupla) de una relación (conjunto) con los de la otra.

En general, el resultado de $R(A_1, A_2, \dots, A_n) \times S(B_1, B_2, \dots, B_m)$ es una relación Q con un grado de $n + m$ atributos $Q(A_1, A_2, \dots, A_n, B_1, B_2, \dots, B_m)$, en este orden.

La relación resultante Q tiene una tupla por cada combinación de éstas (una para R y otra para S). Por tanto, si R tiene n_R tuplas (indicado como $|R| = n_R$), y S cuenta con n_S tuplas, $R \times S$ tendrá $n_R * n_S$ tuplas.

La operación PRODUCTO CARTESIANO n -ario es una extensión del concepto indicado más arriba que produce nuevas tuplas concatenando todas las posibles combinaciones de tuplas desde n relaciones subyacentes.

Es útil cuando va seguida por una selección que correlacione los valores de los atributos procedentes de las relaciones componentes.

Operaciones relacionales binarias

Concatenación

CONCATENACIÓN, especificada mediante \bowtie , se emplea para combinar tuplas relacionadas de dos relaciones en una sola. Esta operación es muy importante para

cualquier base de datos relacional que cuente con más de una relación, ya que nos permite procesar relaciones entre relaciones.

La forma general de una CONCATENACIÓN en dos relaciones $R(A_1, A_2, \dots, A_n)$ y $S(B_1, B_2, \dots, B_m)$ es:

$$R \bowtie \langle \text{condición de conexión} \rangle S$$

El resultado de la CONCATENACIÓN es una relación Q de $n + m$ atributos $Q(A_1, A_2, \dots, A_n, B_1, B_2, \dots, B_m)$ por este orden; Q tiene una tupla por cada combinación de éstas (una para R y otra para S) siempre que dicha combinación satisfaga la condición de conexión.

Ésta es la principal diferencia existente entre el PRODUCTO CARTESIANO y la CONCATENACIÓN. En la CONCATENACIÓN sólo aparecen en el resultado las combinaciones de tuplas que satisfacen la condición de conexión, mientras que en el PRODUCTO CARTESIANO se incluyen todas las combinaciones de tuplas.

La condición de conexión está especificada sobre los atributos de las dos relaciones R y S y es evaluada para cada combinación de tuplas, incluyéndose en la relación Q resultante en forma de una única tupla combinada sólo aquéllas cuya condición de conexión se evalúe como VERDADERO.

División

La DIVISIÓN, especificada mediante \div , es útil para cierto tipo de consultas que a veces se realizan en aplicaciones de bases de datos.

Para que una tupla t aparezca en el resultado T de la DIVISIÓN, los valores de aquélla deben aparecer en R en combinación con cada tupla en S .

Observe que en la formulación de la operación DIVISIÓN, las tuplas de la relación denominador restringen la relación numerador seleccionando aquellas tuplas del resultado que sean iguales a todos los valores presentes en el denominador.

La operación DIVISIÓN está definida por conveniencia para gestionar las consultas que implican una cuantificación universal.

Bibliografía

- [1] Google, *Google Trends - NoSQL*, 2020. dirección: <https://trends.google.es/trends/explore?date=all&q=NoSQL>.
- [2] E. F. Codd, «A relational model of data for large shared data banks», *Communications of the ACM*, vol. 13, DOI: [10.1145/362384.362685](https://doi.org/10.1145/362384.362685).
- [3] C. Li, «Transforming relational database into HBase: A case study», en *2010 IEEE International Conference on Software Engineering and Service Sciences*, jul. de 2010, págs. 683-687. DOI: [10.1109/ICSESS.2010.5552465](https://doi.org/10.1109/ICSESS.2010.5552465).
- [4] A. Chebotko, A. Kashlev y S. Lu, «A Big Data Modeling Methodology for Apache Cassandra», en *2015 IEEE International Congress on Big Data*, jun. de 2015, págs. 238-245. DOI: [10.1109/BigDataCongress.2015.41](https://doi.org/10.1109/BigDataCongress.2015.41).
- [5] M. J. Mior, K. Salem, A. Aboulnaga y R. Liu, «NoSE: Schema Design for NoSQL Applications», *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 29, n.º 10, págs. 2275-2289, oct. de 2017, ISSN: 2326-3865. DOI: [10.1109/TKDE.2017.2722412](https://doi.org/10.1109/TKDE.2017.2722412).
- [6] D. Martinez-Mosquera, R. Navarrete y S. Lujan-Mora, «Modeling and Management Big Data in Databases—A Systematic Literature Review», *Sustainability*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12020634>.
- [7] J. Dullea, I.-Y. Song e I. Lamprou, «An analysis of structural validity in entity-relationship modeling», *Data & Knowledge Engineering*, vol. 47, n.º 2, págs. 167-205, 2003, Publisher: Elsevier.
- [8] A. de la Vega, D. García-Saiz, C. Blanco, M. Zorrilla y P. Sánchez, «Mortadelo: Automatic generation of NoSQL stores from platform-independent data models», *Future Generation Computer Systems*, vol. 105, págs. 455-474, 2020, Publisher: Elsevier.
- [9] C. de Lima y R. dos Santos Mello, «A workload-driven logical design approach for NoSQL document databases», en *Proceedings of the 17th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services*, 2015, págs. 1-10.
- [10] M. J. Mior, K. Salem, A. Aboulnaga y R. Liu, «NoSE: Schema design for NoSQL applications», *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 29, n.º 10, págs. 2275-2289, 2017, Publisher: IEEE.
- [11] datafluent, *Kashlev Data Modeler*, 2020. dirección: <https://www.datafluent.org/>.

-
- [12] Amazon, *NoSQL Workbench for Amazon DynamoDB*, 2020. dirección: <https://docs.aws.amazon.com/amazondynamodb/latest/developerguide/workbench.html>.
- [13] HacKolade, *HacKolade*, 2020. dirección: <https://hackolade.com/>.
- [14] Ramez Elmasri, *Fundamentos de SIstemas de Bases de Datos*. Pearson, ISBN: 84-7829-085-0.
- [15] P. Chen, *The entity-relationship model: Toward a unified View of data*. dirección: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.523.6679>.
- [16] Cristina Marta Bender, Claudia Deco, Juan Sebastián González Sanabria, María Hallo y Julio César Ponce Gallegos, *Tópicos Avanzados de Bases de Datos*, 1.^a ed. Iniciativa Latinoamericana de Libros de Texto Abiertos.
- [17] E. Brewer, «Towards robust distributed systems», ene. de 2000. DOI: [10.1145/343477.343502](https://doi.org/10.1145/343477.343502).
- [18] C. Coronel y S. Morris, *Database Systems: Design, Implementation, and Management*, 13.^a ed. Cengage, ISBN: 978-1-337-62790-0.
- [19] P. J. Sadalage y M. Fowler, *Nosql Distilled: A Brief Guide to the Emerging World of Polyglot Persistence*, 1.^a ed. Pearson Education, ISBN: 978-0-321-82662-6.
- [20] *HTTP - Hypertext Transfer Protocol*. dirección: <https://www.w3.org/Protocols/>.
- [21] *HTML*. dirección: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/HTML>.
- [22] Wikipedia contributors, *Style sheet language — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. 2020. dirección: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Style_sheet_language&oldid=937209434.
- [23] *What is CSS?* Dirección: <https://www.w3.org/standards/webdesign/htmlcss#whatcss>.
- [24] *Documentation Sass*. dirección: <https://sass-lang.com/documentation>.
- [25] *Most Loved, Dreaded, and Wanted Web Frameworks - stack overflow*. dirección: https://insights.stackoverflow.com/survey/2019#technology_-_most-loved-dreaded-and-wanted-web-frameworks.
- [26] *JavaScript*. dirección: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/JavaScript>.
- [27] T. Publishing, *TypeScript Programming Language*, 1.^a ed. Independently published, nov. de 2019, ISBN: 1-70883-980-1.
- [28] *stack overflow - Developer Survey Results 2019 - Most Popular Technologies*. dirección: <https://insights.stackoverflow.com/survey/2019#most-popular-technologies>.
- [29] Wikipedia contributors, *Web framework — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. 2020. dirección: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Web_framework&oldid=956641850.
- [30] Wikipedia, *React — Wikipedia, La enciclopedia libre*. 2020. dirección: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=React&oldid=125579300>.

-
- [31] —, *Angular (framework)* — *Wikipedia, La enciclopedia libre*. 2020. dirección: [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Angular_\(framework\)&oldid=122940933](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Angular_(framework)&oldid=122940933).
- [32] ¿Qué es Vue.js? Dirección: <https://es.vuejs.org/v2/guide/>.
- [33] *What is NuxtJS?* Dirección: <https://nuxtjs.org/guide>.
- [34] Wikipedia contributors, *CSS framework* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. 2020. dirección: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=CSS_framework&oldid=952876853.
- [35] *Introduction Material Design*. dirección: <https://material.io/design/introduction#goals>.
- [36] *Vuetify Component API Overview*. dirección: <https://vuetifyjs.com/en/components/api-explorer/>.
- [37] *Documentation Bootstrap*. dirección: <https://getbootstrap.com/docs/4.5/getting-started/introduction/>.
- [38] Wikipedia, *MongoDB* — *Wikipedia, La enciclopedia libre*. 2020. dirección: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=MongoDB&oldid=125700084>.
- [39] —, *CouchDB* — *Wikipedia, La enciclopedia libre*. 2020. dirección: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=CouchDB&oldid=125555652>.
- [40] *GoJs*. dirección: <https://gojs.net/latest/index.html>.
- [41] *Fabric Documentation*, 2020. dirección: <http://fabricjs.com/fabric-intro-part-1>.
- [42] Wikipedia contributors, *D3.js* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. 2020. dirección: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=D3.js&oldid=956132961>.
- [43] M. Lutz, *Learning Python*, 5.^a ed. O'Really, jun. de 2013, ISBN: 978-1-4493-5573-9.
- [44] Wikipedia, *Django (framework)* — *Wikipedia, La enciclopedia libre*. 2020. dirección: [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Django_\(framework\)&oldid=125055379](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Django_(framework)&oldid=125055379).
- [45] U. C. los Ángeles, *Metodología de desarrollo de software*, 2020. dirección: <https://www.uladech.edu.pe/images/stories/universidad/documentos/2018/metodologia-desarrollo-software-v001.pdf>.
- [46] T. S. Guide, *The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game*, 2020. dirección: <https://www.scrumguides.org/docs/scrumguide/v2017/2017-Scrum-Guide-US.pdf#zoom=100>.
- [47] S. México, *SCRUM México - Escribiendo Historias de Usuario*, 2020. dirección: <https://www.scrum.mx/informate/historias-de-usuario>.
- [48] M. T. Gallego, *Metodología SCRUM*, 2020. dirección: <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/17885/1/mtrigasTFC0612memoria.pdf>.
- [49] R. S. Pressman, *Software engineering: a practitioner's approach*. Palgrave macmillan, 2005.

-
- [50] A. Abran, *Applied Software Measurement: Proceedings of the International Workshop on Software Metrics and DASMA Software Metrik Kongress*. Shaker, 2006.
- [51] P. Galván, *Estudio de salarios SG 2020*, 2020. dirección: <https://sg.com.mx/estudios/salarios/2020>.
- [52] Wikipedia, *Diagrama de clases* — *Wikipedia, La enciclopedia libre*. 2020. dirección: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Diagrama_de_clases&oldid=126211624.
- [53] Catherine M. Ricardo, *Bases de datos*. McGraw-Hill, ISBN: 978-970-10-7275-2.