



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Orizaba

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

OPCIÓN I.- TESIS

TRABAJO PROFESIONAL

"DESARROLLO DE UN SISTEMA DE EVALUACIÓN
ADAPTATIVA COMPUTARIZADA BASADA EN
REGLAS DE ASOCIACIÓN SECUENCIALES"

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN SISTEMAS
COMPUTACIONALES

PRESENTA:

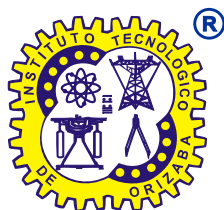
I.T.I. Arturo Uriel Reyes García

DIRECTOR DE TESIS:

Dra. Lisbeth Rodríguez Mazahua

CODIRECTOR DE TESIS:

Dr. Asdrúbal López Chau



ORIZABA, VERACRUZ, MÉXICO.

ABRIL 2024

Orizaba, Veracruz, **14/marzo/2024**
Dependencia: División de Estudios de
Posgrado e Investigación
Asunto: **Autorización de Impresión**
OPCION: I

C. ARTURO URIEL REYES GARCÍA
CANDIDATO A GRADO DE MAESTRO EN:
SISTEMAS COMPUTACIONALES
P R E S E N T E.-

De acuerdo con el Reglamento de Titulación vigente de los Centros de Enseñanza Técnica Superior, dependiente de la Dirección General de Institutos Tecnológicos de la Secretaría de Educación Pública y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora le hizo respecto a su Trabajo Profesional titulado:

" Desarrollo de un sistema de evaluación adaptativa computarizada basada en reglas de asociación secuenciales"

comunico a Usted que este Departamento concede su autorización para que proceda a la impresión del mismo.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®



DRA. OFELIA LANDETA ESCAMILLA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



OG-13-F06



Orizaba, Veracruz, 12/febrero/2024
Asunto: **Revisión de trabajo escrito**

C. OFELIA LANDETA ESCAMILLA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
PRESENTE.-

Los que suscriben, miembros del jurado, han realizado la revisión de la Tesis del (la) C.

ARTURO URIEL REYES GARCÍA

La cual lleva el título de:

Desarrollo de un sistema de evaluación adaptativa computarizada basada en reglas de asociación secuenciales

Y concluyen que se acepta.

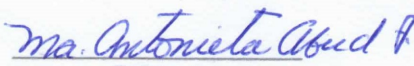
ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®

PRESIDENTE: DRA. LISBETH RODRÍGUEZ
MAZAHUA



FIRMA

SECRETARIO: M.C. MA. ANTONIETA ABUD
FIGUEROA



FIRMA

VOCAL: DR. ULISES JUÁREZ MARTÍNEZ



FIRMA

VOCAL SUP.: DR. ASDRÚBAL LÓPEZ CHAU



FIRMA

TA-09-18



Av. Oriente 9 Núm.852, Colonia Emiliano Zapata. C.P. 94320 Orizaba, Veracruz.
Tel. 01 (272)1105360 e-mail: dir_orizaba@tecnm.mx tecnm.mx | orizaba.tecnm.mx



Agradezco a Dios, fuente inagotable de fortaleza y sabiduría, por guiarme a lo largo de este apasionante viaje académico y brindarme la inspiración necesaria para superar cada desafío. Igualmente, a mi pareja, por ser mi apoyo incondicional, comprensivo y alentador. Has sido mi impulso durante este proceso.

A mis padres y hermanos, cuyo amor y sacrificio han sido la base de mi formación. Gracias por su constante apoyo, por creer en mí y por ser mi red de seguridad en cada paso que doy. También quiero agradecer a mis amigos, quienes han compartido risas, ánimos y consuelo a lo largo de esta travesía. Su compañía ha hecho más ligero el camino y ha convertido los desafíos en oportunidades de crecimiento compartido.

Agradezco de manera especial a mi directora de tesis, la Dra. Lisbeth Rodríguez Mazahua por su orientación experta, paciencia y dedicación. Su liderazgo y conocimientos han sido fundamentales para dar forma a este trabajo de investigación. Aprecio profundamente su mentoría y guía a lo largo de este proceso. Así como a los miembros del jurado por su tiempo, conocimientos y por sus valiosas contribuciones a este proyecto de investigación.

Expreso mi agradecimiento al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por su apoyo financiero, el cual ha hecho posible la realización de esta investigación.

Por último, al Tecnológico Nacional de México (TecNM) por brindarme las herramientas y recursos necesarios para llevar a cabo este proyecto de tesis. Sin el apoyo y la colaboración de todas estas personas e instituciones, este logro no habría sido posible.

Índice

Índice de Tablas	IV
Índice de Figuras	V
Índice de Códigos	IX
Resumen	X
Abstract.....	XI
Introducción	XII
Capítulo 1. Antecedentes.....	1
1.1 Marco teórico.....	1
1.1.1. CAT (Computerized Adaptive Testing, Exámenes Adaptativos Computarizados)	1
1.1.2. Componentes del CAT.....	1
1.1.2.1 Grupo de elementos calibrados	2
1.1.2.2 Punto de partida	2
1.1.2.3 Algoritmo de selección de elementos o ítems.....	2
1.1.2.4 Procedimiento de puntuación	2
1.1.2.5 Criterio de terminación	2
1.1.3 Minería de datos	3
1.1.3.1 Tareas predictivas.....	3
1.1.3.2 Regresión	3
1.1.3.3 Clasificación.....	3
1.1.3.4 Tareas descriptivas	4

1.1.3.5 Agrupamiento	4
1.1.4 Minería de reglas de asociación	4
1.1.5 Minería de reglas de asociación secuenciales.	5
1.2 Situación tecnológica, económica y operativa de la empresa	9
1.3 Planteamiento del problema.....	10
1.4 Objetivo general y específicos.....	10
1.4.1 Objetivo general	10
1.4.2 Objetivos específicos.....	11
1.5 Justificación.....	11
Capítulo 2. Estado de la práctica	12
2.1 Trabajos relacionados	12
2.1 Análisis comparativo.....	21
2.3 Propuesta de solución	28
Capítulo 3 aplicación de la metodología	33
3.1 Análisis.....	33
3.2 Flujo de trabajo del sistema propuesto.....	53
3.3 Desarrollo.....	54
3.3.1 Análisis de requerimientos.....	55
3.3.2 Modelo conceptual.....	72
Tablas de la base datos.....	76
3.3.3 Modelo de navegación.....	78
3.3.4 Modelo de presentación.....	84
3.3.5. Modelo de proceso	100
3.4 Análisis de datos	120

3.4.1 Evaluación de los algoritmos	122
3.4.2 Resultados de la evaluación de algoritmos.....	123
3.4.3 Creación de conjuntos de datos	125
3.4.4 Creación de reglas de asociación y reglas de asociación secuenciales	126
3.4.5 Algoritmo.....	129
3.4.6 Método de selección de ítem.	134
Capítulo 4. Resultados.....	138
4.1 Resultados del análisis.....	138
4.2 Sistema de Evaluación Adaptativa Computarizada Basada en Reglas de Asociación Secuenciales.....	143
Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones	150
5.1 Conclusiones.....	150
5.2 Recomendaciones.....	152
Productos académicos	153
Referencias.....	154

Índice de Tablas

Tabla 2.1 Análisis comparativo de artículos relacionados.....	21
Tabla 3.1 Tabla comparativa de artículos relacionados	35
Tabla 3.2 Resumen del análisis comparativo	51
Tabla 3.4 Descripciones de actores del sistema	56
Tabla 3.5 Resultados de algoritmos de patrones secuenciales.....	123
Tabla 3 6 Resultados de algoritmos de Reglas secuenciales	124

Índice de Figuras

Figura 3. 1 Metodología de análisis y criterios de selección	34
Figura 3. 2 Flujo de trabajo del sistema de evaluación adaptativa computarizada....	53
Figura 3.3 Arquitectura del sistema de evaluación adaptativa computarizada	55
Figura 3.4 Diagrama de casos de uso del sistema.....	57
Figura 3.5 Diagrama de actividad del caso de uso Iniciar Sesión	58
Figura 3.6 Diagrama de actividad del caso de uso <i>Cerrar Sesión</i>	59
Figura 3.7 Diagrama de actividad del caso de uso Registrarse	59
Figura 3.8 Diagrama de actividad del caso de uso <i>Editar Perfil</i>	60
Figura 3.9 Diagrama de actividad del caso de uso <i>Darse de Baja</i>	60
Figura 3.10 Diagrama de actividad del caso de uso <i>Recuperar Contraseña</i>	61
Figura 3.11 Diagrama de actividad del caso de uso <i>Crear Examen</i>	62
Figura 3.12 Diagrama de actividad del caso de uso <i>Consultar Examen</i>	62
Figura 3.13 Diagrama de actividad del caso de uso <i>Consultar Examen</i>	63
Figura 3. 14 Diagrama de actividad del caso de uso <i>Eliminar Examen</i>	64
Figura 3. 15 Diagrama de actividad del caso de uso <i>Consultar Calificaciones</i>	64
Figura 3. 16 Diagrama de actividad del caso de uso <i>Modificar Calificaciones</i>	65
Figura 3. 17 Diagrama de actividad para el caso de uso <i>Eliminar Calificaciones</i>	66
Figura 3. 18 Diagrama de actividad del caso de uso <i>Registrar Curso</i>	66
Figura 3. 19 Diagrama de actividad del caso de uso <i>Consultar Curso</i>	67
Figura 3. 20 Diagrama de actividad del caso de uso <i>Modificar Curso</i>	67
Figura 3. 21 Diagrama de actividad del caso de uso de <i>Eliminar Curso</i>	68
Figura 3. 22 Diagrama de actividad para el caso de uso <i>Enviar Solicitud</i>	69
Figura 3. 23 Diagrama de actividad del caso de uso <i>Responder Solicitud</i>	69
Figura 3. 24 Diagrama de actividad del caso de uso <i>Cancelar Solicitud</i>	70
Figura 3. 25 Diagrama de actividad para el caso de uso <i>Responder Examen</i>	71
Figura 3. 26 Diagrama de actividad del caso de uso <i>Calibrar Ítems</i>	71
Figura 3. 27 Diagrama de actividad del caso de uso <i>Crear Reglas de Asociación Secuenciales</i>	72
Figura 3. 28 Modelo Conceptual de la base de datos	73

Figura 3. 29 Modelo Lógico de la base de datos.....	74
Figura 3. 30 Modelo Físico de la base de datos.....	75
Figura 3. 31 Modelo de Navegación <i>Menú Principal</i>	79
Figura 3. 32 Modelo de Navegación <i>Menú cursos</i>	80
Figura 3. 33 Modelo de Navegación <i>Menú usuarios</i>	81
Figura 3. 34 Modelo de Navegación <i>Menú Calificaciones</i>	81
Figura 3. 35 Modelo de Navegación <i>Menú exámenes</i>	82
Figura 3. 36 Modelo de Navegación <i>General</i>	83
Figura 3. 37 Modelo de presentación <i>Página inicio</i>	84
Figura 3. 38 Modelo de presentación <i>Menú Acciones</i>	85
Figura 3. 39 Modelo de presentación <i>Página Usuario</i>	85
Figura 3. 40 Modelo de presentación área alternativa <i>Registrarse</i>	86
Figura 3. 41 Modelo de presentación área alternativa <i>Iniciar Sesión</i>	86
Figura 3. 42 Modelo de presentación área alternativa <i>Recuperar Contraseña</i>	87
Figura 3. 43 Modelo de presentación <i>Página Cursos</i>	87
Figura 3. 44 Modelo de presentación área alternativa <i>Gestionar Cursos</i>	89
Figura 3. 45 Modelo de presentación área alternativa <i>Registrar Curso</i>	90
Figura 3. 46 Modelo de presentación área alternativa <i>Consultar Curso</i>	90
Figura 3. 47 Modelo de presentación área alternativa <i>Modificar Curso</i>	90
Figura 3. 48 Modelo de presentación área alternativa <i>Responder Solicitudes</i>	91
Figura 3. 49 Modelo de presentación <i>Página Calificaciones</i>	91
Figura 3. 50 Modelo de presentación área alternativa <i>Gestionar Calificaciones</i>	93
Figura 3. 51 Modelo de presentación área alternativa <i>Modificar Calificación</i>	94
Figura 3. 52 Modelo de presentación <i>Página Examen</i>	94
Figura 3. 53 Modelo de presentación área alternativa <i>Gestionar Exámenes</i>	95
Figura 3. 54 Modelo de presentación área alternativa <i>Crear Examen</i>	96
Figura 3. 55 Modelo de presentación área alternativa <i>Consultar Examen</i>	97
Figura 3. 56 Modelo de presentación del área alternativa <i>Modificar Examen</i>	98
Figura 3. 57 Modelo de presentación área alternativa <i>Responder Examen</i>	99
Figura 3. 58 Modelo de presentación área alternativa <i>Mensajes</i>	100

Figura 3. 59 Diagrama de proceso del caso de uso <i>Iniciar Sesión</i>	101
Figura 3. 60 Diagrama de Proceso del caso de uso <i>Cerrar Sesión</i>	101
Figura 3. 61 Diagrama de Proceso del caso de uso <i>Registrarse</i>	102
Figura 3. 62 Diagrama de Proceso del caso de uso <i>Editar Perfil</i>	103
Figura 3. 63 Diagrama de Proceso del caso de uso <i>Darse de Baja</i>	103
Figura 3. 64 Diagrama de actividad del caso de uso <i>Recuperar Contraseña</i>	104
Figura 3. 65 Diagrama de proceso del caso de uso <i>Crear Examen</i>	105
Figura 3. 66 Diagrama de proceso del caso de uso <i>Consultar Examen</i>	106
Figura 3. 67 Diagrama de actividad del caso de uso <i>Modificar Examen</i>	107
Figura 3. 68 Diagrama de proceso del caso de uso <i>Eliminar Examen</i>	108
Figura 3. 69 Diagrama de proceso del caso de uso <i>Consultar Calificaciones</i>	109
Figura 3. 70 Diagrama de proceso del caso de uso <i>Modificar Calificaciones</i>	110
Figura 3. 71 Diagrama de proceso del caso de uso <i>Eliminar Calificaciones</i>	111
Figura 3. 72 Diagrama de proceso del caso de uso <i>Registrar Curso</i>	112
Figura 3. 73 Diagrama de proceso del caso de uso <i>Consultar Curso</i>	113
Figura 3. 74 Diagrama de proceso del caso de uso <i>Modificar Curso</i>	114
Figura 3. 75 Diagrama de proceso del caso de uso <i>Eliminar Curso</i>	115
Figura 3. 76 Diagrama de proceso para el caso de uso <i>Enviar Solicitud</i>	116
Figura 3. 77 Diagrama de proceso del caso de uso <i>Responder Solicitud</i>	117
Figura 3. 78 Diagrama de proceso del caso de uso <i>Cancelar Solicitud</i>	118
Figura 3. 79 Diagrama de proceso para el caso de uso <i>Responder Examen</i>	119
Figura 3. 80 Diagrama de proceso del caso de uso <i>Calibrar Ítems</i>	119
Figura 3. 81 Diagrama de proceso del caso de uso <i>Crear Reglas de Asociación Secuenciales</i>	120
Figura 3. 82 <i>Matriz Original</i>	121
Figura 3. 83 <i>Matriz Transformada</i>	122
Figura 3. 84 <i>Creación de reglas</i>	127
Figura 3. 85 <i>Mensaje de creación de reglas</i>	128
Figura 3. 86 <i>Ítems disponibles</i>	130
Figura 3. 87 <i>Lista de Reglas encontradas</i>	131

Figura 3. 88 <i>Lista Reglas encontradas caso negativo</i>	131
Figura 3. 89 Respuesta correcta si no se encuentran reglas	132
Figura 3. 90 Respuesta incorrecta si no se encuentran reglas.....	132
Figura 3. 91 <i>Página Ver Exámenes</i>	134
Figura 4. 1 Artículos por año de publicación	138
Figura 4.2 Artículos por editorial.....	139
Figura 4. 3 Grafica de problemas abordados	140
Figura 4. 4 Tipos de conjuntos	140
Figura 4. 5 Áreas de estudio	141
Figura 4. 6 Niveles de estudio	141
Figura 4. 7 Algoritmos	142
Figura 4. 8 Tecnologías.....	142
Figura 4. 9 Pantalla de Inicio	143
Figura 4. 10 Página de Inicio de Sesión	144
Figura 4. 11 Página de Mis Cursos Profesor.....	145
Figura 4. 12 Página de Mis Cursos Alumno	145
Figura 4. 13 Página Exámenes Alumno	146
Figura 4. 14 Página Información de Examen	147
Figura 4. 15 Formulario de Examen	148
Figura 4. 16 Página Terminación de Examen	149

Índice de Códigos

Código 3.1 Procedimiento create_dataset	125
Código 3.2 Procedimiento create_dataset_2	126
Código 3.3 Método createReglas	127
Código 3.4 Continuación Método createReglas	128
Código 3.5 Método createRulesSeq	129
Código 3.6 Continuación Método createRulesSeq	129
Código 3.7 Método de selección de ítems	135
Código 3.8 Consulta de datos método de selección de ítems	135
Código 3.9 Condición de las respuestas	136
Código 3.10 Calculo de calificación	137
Código 3.11 Cambio a pantalla de término de examen	137

Resumen

Este trabajo tiene como principal objetivo presentar el desarrollo de un sistema de evaluación adaptativa computarizada (CAT) basada en reglas de asociación secuenciales. La novedad de este sistema está en utilizar minería de reglas de asociación secuenciales como método de selección de ítems en un sistema CAT. El sistema suministra al estudiante ítems que están acorde a su nivel de conocimiento a través de las repuestas que él mismo ingrese en la prueba además de las respuestas correctas de otros estudiantes en la misma prueba con base en una regla de asociación secuencial que tengan la mayor confianza y soporte. Las tecnologías utilizadas para el desarrollo del proyecto son la metodología de ingeniería web basada en UML (UWE por sus siglas en inglés), el lenguaje de programación Java, el entorno de desarrollo NetBeans y el sistema gestor de bases de datos (SGBD) MySQL, como marco de trabajo se usó JavaServer Faces y, por último, se empleó Sequential Pattern Mining Framework (SPMF) como herramienta de minería de datos.

Abstract

This work has as its main objective to show the development of a computerized Adaptive Testing System (CAT) based on sequential association rule mining. The novelty of this system lies in the use of sequential association rule mining as a method for selecting items in a CAT system. The system will supply the students with items that are in line with their level of knowledge based on the responses they input in the test, in addition to the correct responses of other students in the same test. This is based on a sequential association rule with the highest confidence and support. The technologies utilized for the project development include the UML (Unified Model Language)-based Web Engineering (UWE), the Java programming language, the NetBeans integrated development environment, and the MySQL database management system. JavaServer Faces was used as the framework, and finally, the Sequential Pattern Mining Framework (SPMF) was employed as the data mining tool.

Introducción

Un examen o una evaluación es un instrumento por el cual se evalúa el nivel de aprendizaje y conocimiento que tiene el sujeto o estudiante que lo presenta, estas evaluaciones se consideran como herramientas psicopedagógicas universales en el contexto escolar [1]. Los exámenes tradicionales realizados a papel o de forma digital cuentan con una serie de preguntas o ítems que son de tipo abierto o cerrado. Sin embargo, estas evaluaciones suponen que todos los estudiantes cuentan con el mismo nivel de habilidad y conocimiento por eso los incisos se plantean con el mismo nivel de dificultad para todos. Con el surgimiento de la tecnología la forma de evaluar a los alumnos cambió de tal forma que se realizaron diferentes maneras de aplicar exámenes como a través de plataformas, es ahí donde surgen los CAT que como su nombre lo indica se adaptan, esta adaptación consiste en nivelar las preguntas de la prueba con el nivel de conocimiento del estudiante. Anteriormente se tiene registro de un sistema CAT que integra reglas de asociación como un método de selección de ítems. En este caso se desarrolló un CAT que incluye reglas de asociación secuenciales para este propósito. El presente documento está conformado por tres capítulos. En el capítulo uno se observa el marco teórico de la investigación, la situación tecnológica del Instituto Tecnológico de Orizaba y se exponen el planteamiento del problema, el objetivo general, los objetivos específicos y la justificación. En el capítulo dos se realizó una descripción de trabajos relacionados con el presente además de un análisis comparativo de los mismos. En el capítulo tres se llevó a cabo el análisis de diferentes trabajos relacionados con técnicas de minería de patrones secuenciales para conocer cuáles existen y seleccionar la más adecuada para utilizarse en el sistema y la aplicación de la metodología. Luego en el capítulo cuatro se muestran los resultados del análisis y los resultados obtenidos con el desarrollo del sistema. Por último, en el capítulo cinco, se muestran las conclusiones de este proyecto y los trabajos a futuro.

Capítulo 1. Antecedentes

En este capítulo se exponen diversos conceptos que serán de ayuda para el presente proyecto, además de esto también se presenta el objetivo general, los objetivos específicos, la justificación y la problemática a resolver.

1.1 Marco teórico

En este apartado se presentan los conceptos más relevantes que tiene relación con el presente proyecto.

1.1.1. CAT (*Computerized Adaptive Testing*, Exámenes Adaptativos Computarizados)

Los exámenes adaptativos computarizados son un tipo de evaluación donde el orden de sus incisos se determina por las repuestas del sujeto evaluado en incisos anteriores. La dificultad de los incisos o ítems es determinada de forma experimental, este proceso de medición consiste en saber el porcentaje de sujetos que son capaces de dar una respuesta correcta a una misma tarea en experimentos anteriores [2]. El funcionamiento de los CAT descrito de forma sencilla es el siguiente: Si el sujeto evaluado responde correctamente el primer inciso, se le administra un inciso más difícil a continuación. Si el sujeto se equivoca, el siguiente inciso será más fácil. Con esto se logra que cada elemento subsiguiente se elija de forma adaptativa y sea el más apropiado para el nivel de capacidad del sujeto examinado, dicha estimación continuará hasta alcanzar el número determinado de incisos [3].

1.1.2. Componentes del CAT

El CAT está formado por una serie de cinco componentes los cuales son: 1) el grupo de elementos calibrados, 2) el punto de partida, 3) el algoritmo de selección, 4) el procedimiento de puntuación y 5) el criterio de terminación, estos componentes se describen a continuación.

1.1.2.1 Grupo de elementos calibrados

Este componente consiste en tener un conjunto de ítems disponibles para que el CAT elija, dichos ítems se crean de forma manual o mediante alguna técnica de generación automática. Una característica importante es que se calibra con un modelo psicométrico, generalmente, la teoría de la respuesta al ítem se utiliza para eso [4].

1.1.2.2 Punto de partida

El punto de partida de los CAT está determinado por una estimación inicial del nivel de capacidad que tiene el sujeto a evaluar, sin embargo, en caso de no conocer alguna información por lo general se asume que el evaluado cuenta con una capacidad promedio y se administra un primer ítem de dificultad intermedia [4].

1.1.2.3 Algoritmo de selección de elementos o ítems

En la mayoría de los CAT se utiliza la teoría de respuesta al ítem como algoritmo de selección, ya que coloca a los evaluados y los ítems en una misma métrica, selecciona un elemento que es más apropiado con el nivel de usuario, esto se realiza a partir del ítem con más información en ese momento [4].

1.1.2.4 Procedimiento de puntuación

Este componente permite obtener la función de probabilidad de la capacidad del sujeto evaluado, mediante las técnicas de estimación de máxima verosimilitud y estimación bayesiana. El método o procedimiento de puntuación es importante, ya que a partir de este se crean intervalos de confianza que sirven para delimitar la precisión del logro [4].

1.1.2.5 Criterio de terminación

Uno de los componentes más importantes de un CAT es el criterio de terminación, ya que una prueba solo continuará según el criterio calibrado, este tiene diferentes opciones, por ejemplo, cuando se llegue a determinada precisión de estimación o cuando se hayan presentado cierto número de ítems o un tiempo límite establecido[5].

1.1.3 Minería de datos

La minería de datos es un área de estudio científico que trabaja para encontrar patrones y correlaciones en conjuntos de datos, estos patrones ayudan a resolver problemas analizando los datos obtenidos, mejoran la toma de decisiones para que estas sean más seguras y que generen beneficios para organizaciones y/o empresas, También se define a la minería de datos como el proceso de aplicar algoritmos específicos para extraer patrones de los datos [6]. La minería de datos es un campo de intersección entre la informática y la estadística que se utiliza para el descubrimiento de patrones, su objetivo principal es extraer información útil del conjunto de datos y moldearlo en una estructura comprensible para uso futuro. Con base en esta definición se sabe que existen diferentes técnicas y procesos para llevarla a cabo con éxito, estas se dividen en tareas descriptivas y predictivas [7].

1.1.3.1 Tareas predictivas

Las tareas predictivas son aquellas que tienen la capacidad de realizar inferencias en datos de entrada con el fin de generar o como su nombre lo indica predecir información que es de interés [7]. A continuación, se explicarán las tareas predictivas.

1.1.3.2 Regresión

La regresión consiste en conseguir una función que realice la tarea de mapear un elemento de dato a una variable de predicción en un valor real, cabe resaltar que para esta el atributo a predecir es cuantitativo [8]. La regresión tiene diversas aplicaciones en diferentes áreas como, por ejemplo, la medicina, ya que es capaz de estimar la probabilidad de que un paciente no muera, también en la de ventas para predecir la demanda de un consumidor por un producto nuevo [9].

1.1.3.3 Clasificación

La clasificación utiliza un conjunto de datos de entrenamiento para obtener un modelo que se usará para clasificar elementos desconocidos con base en un atributo de clase de tipo cualitativo. También la clasificación es adquirir una función capaz de clasificar un elemento de dato en varias clases predeterminadas. Esta crea modelos partiendo

del análisis de un cúmulo de datos, estos modelos se representan como reglas de clasificación, árboles de decisión y/o redes neuronales. Al igual que la regresión, dicha tarea tiene diversas áreas de aplicación como la identificación de tendencias financieras y la identificación de objetos de interés [9].

1.1.3.4 Tareas descriptivas

Las tareas descriptivas son aquellas que generan modelos que tienen la función de describir un grupo de datos. A continuación, se explicarán las tareas descriptivas.

1.1.3.5 Agrupamiento

El agrupamiento tiene el objetivo principal de obtener una serie de grupos homogéneos con base en un conjunto de datos heterogéneos, estos grupos son exclusivos o exhaustivos y también coinciden en una representación jerárquica o permiten solapamientos [8]. En general esta tarea se utiliza cuando se tiene demasiada información de diferentes tipos de objetos en el conjunto a estudiar. Entre los ejemplos de aplicación de esta técnica está la segmentación de clientes donde se incluyen subgrupos uniformes de clientes con base en sus patrones de consumo en una base de datos de mercados. Esta técnica usa algoritmos de *clustering* [6].

1.1.4 Minería de reglas de asociación

El principal objetivo de esta técnica es el de buscar relaciones que no están explicadas entre atributos, es utilizada mayormente para la introspectiva empresarial, ya que ayudan a las empresas a planificar sus estrategias de ventas y gestión de espacio, como, por ejemplo, en la regla ($L \Rightarrow O$), donde L y O son conjuntos de elementos, se entiende que el primero implica al segundo, como antecedente se encuentra L y como consecuente O, la utilidad y certeza de las reglas de asociación se mide mediante las medidas estadísticas que son el soporte definido como $P(L \cup O)$, es decir, el porcentaje de transacciones que contiene tanto L como O y la confianza que se mide usando la fórmula $P(O|L)$ que busca la probabilidad de que O sea un verdadero sujeto de L, esto se refiere al porcentaje de transacciones que contienen O de las que incluyen L [7].

1.1.5 Minería de reglas de asociación secuenciales

La minería de reglas de asociación secuenciales es una técnica que tiene como objetivo el descubrimiento de patrones que ocurren de forma frecuente, ordenada y si estos desencadenan otros posteriormente [9]. Existen muchas aplicaciones que involucran datos secuenciales. Los ejemplos comunes incluyen secuencias de compras de los clientes, secuencias de clics Web, secuencias biológicas, así como secuencias de eventos en ciencia e ingeniería y en desarrollos naturales y sociales [10].

A continuación, se describen los algoritmos de minería de reglas de asociación secuenciales utilizados en este trabajo.

GSP (*Generalize Sequential Patterns*, Patrones secuenciales generalizados)

GSP es un método de minería de patrones secuenciales desarrollado por Srikant y Agrawal en 1996. Es una extensión de su algoritmo influyente para minería de conjuntos de elementos frecuentes, conocido como Apriori. GSP adopta un enfoque de generación múltiple de candidatos y prueba. En el primer análisis de la base de datos, GSP encuentra todos los elementos frecuentes, es decir, aquellos con el soporte mínimo. Cada elemento produce una secuencia frecuente de longitud 1 que consiste en ese elemento. Cada paso subsecuente inicia con un conjunto semilla de patrones secuenciales (el conjunto de patrones secuenciales encontrado en el paso previo). Este conjunto semilla se usa para genera nuevos patrones frecuentes, llamados secuencias candidatas. Cada secuencia candidata contiene un elemento más que el patrón secuencial semilla del que se generó. El número de instancias de elementos en la secuencia es la longitud de la secuencia. Por lo tanto, todas las secuencias candidatas en un paso dado tienen la misma longitud. Una secuencia con una longitud k se refiere como una k -secuencia. C_k denota el conjunto de k -secuencias candidatas. Un paso a través de la base de datos encuentra el soporte para cada k -secuencia candidata. Los candidatos en C_k con el soporte mínimo forman L_k , el conjunto de todas las k -secuencias frecuentes. Este conjunto entonces se vuelve el

conjunto semilla para el siguiente paso, $k + 1$. El algoritmo termina cuando ningún patrón secuencial nuevo se encuentra en un paso, o ya no es posible generar secuencias candidatas [10].

PrefixSpan (*Prefix-projected sequential pattern growth*, crecimiento de patrones secuenciales proyectado por prefijo)

El crecimiento de patrones es un método de minería de patrones frecuentes que no requiere la generación de candidatos. La técnica se originó en el algoritmo FP-growth para bases de datos transaccionales. La idea general de este enfoque es el siguiente: primero encuentra elementos individuales frecuentes, entonces comprime esta información en un árbol de patrones frecuentes o FP-tree. El FP-tree se usa para generar un conjunto de bases de datos proyectadas, cada una asociada con un elemento frecuente. Cada una de estas bases de datos se mina de manera separada y recursivamente, evitando la generación de candidatos. Es posible extender el enfoque de crecimiento de patrones a la minería de patrones secuenciales, lo que lleva a un nuevo algoritmo, PrefixSpan, ilustrado a continuación.

Todos los elementos en un evento pueden listarse alfabéticamente. Por ejemplo, en lugar de listar los elementos en un evento, como (bac) , se pueden listar como (abc) . Dada una secuencia $\alpha = \langle e_1 e_2 \dots e_n \rangle$ (donde cada e_i corresponde a un evento frecuente en una base de datos secuencial, S), una secuencia $\beta = \langle e'_1 e'_2 \dots e'_m \rangle$ ($m \leq n$) es un prefijo de α si y solo si (1) $e'_i = e_i$ para $(i \leq m-1)$; (2) $e'_m \subseteq e_m$; y (3) todos los elementos frecuentes en $(e_m - e'_m)$ están alfabéticamente después de aquellos en e'_m .

Con base en el concepto de prefijo, el problema de minería de patrones secuenciales se descompone en el siguiente conjunto de subproblemas.

1. Considerando que $\{\langle x_1 \rangle, \langle x_2 \rangle, \dots, \langle x_n \rangle\}$ es el conjunto completo de patrones secuenciales de longitud 1, en la base de datos secuencial, S . El conjunto completo de patrones secuenciales en S puede dividirse en n subconjuntos disjuntos. El subconjunto i -ésimo ($1 \leq i \leq n$) es el conjunto de patrones secuenciales con prefijo $\langle x_i \rangle$.

2. Considerando que α es un patrón secuencial de longitud l y $\{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$ es el conjunto de todos los patrones secuenciales de longitud $l+1$ con prefijo α . El conjunto completo de patrones secuenciales con prefijo α , excepto para α mismo, puede dividirse en m subconjuntos disjuntos. El subconjunto j -ésimo ($1 \leq j \leq m$) es el conjunto de patrones secuenciales con prefijo β_j .

Con base en esta observación, es posible dividir el problema recursivamente. Es decir, cada subconjunto de patrones secuenciales puede dividirse cuando sea necesario. Esto forma un marco de trabajo divide y vencerás. Para minar los subconjuntos de patrones secuenciales, se construyen las bases de datos proyectadas correspondientes y cada una se mina recursivamente [10].

SPAM (*Sequential PAttern Mining*, Minería de patrones secuenciales)

La búsqueda de patrones secuenciales y el marco de confianza y soporte siempre han representado un problema para la minería de datos, este problema se aborda en el trabajo de [11] con la propuesta de un algoritmo de minería de patrones secuenciales. SPAM es un algoritmo que como estrategia de búsqueda combina una representación de mapa de bits vertical de la base de datos con un recuento de soporte eficiente, este asume que toda la base de datos a utilizar cabe completamente en la memoria principal, para que aquellos datos de tamaño moderado a grande se conviertan en residentes de memoria. Además de esto SPAM es el primero que integra una estrategia de búsqueda profunda de minería de patrones secuenciales, ya que tiene la capacidad de generar patrones con diferentes longitudes utilizando un diseño de datos de mapa de bits vertical que permite un conteo simple y eficiente, cabe resaltar que si el espacio en memoria se convierte en un problema para la búsqueda de reglas, se cuenta con la capacidad de comprimir los mapas de bit utilizados, igualmente es posible eliminar transacciones para una secuencia cuando las transacciones no contribuyen al recuento de soporte de la secuencia, por último, se demostró por medio de algunos experimentos que este algoritmo tiene mejor rendimiento usando conjuntos de datos grandes en comparación con otros como, por ejemplo, PrefixSpan gracias a

que usa el recorrido de *S-step* (*sequence-extension step*, paso de extensión de secuencia) // *I-step* (*itemset extension step*, paso de extensión de conjunto de ítems), y la poda de los mismos, que contribuyen a este excelente tiempo de ejecución.

TopSeqRules (*Mining Top-K Sequential Rules*, Minería de reglas secuenciales Top-K)

El estudio y generación de reglas de asociación secuenciales requiere de la especificación de parámetros como el soporte y confianza mínimos, sin embargo, estos se vuelven difíciles de establecer, además de que dependiendo de los parámetros dados algunos algoritmos son lentos o generan una gran cantidad de resultados o por el contrario generan menos resultados de los esperados, debido a esta problemática en [12] se propuso el algoritmo TopSeqRules, este es un algoritmo Top-k que está basado en la de búsqueda del algoritmo RuleGrowth y permite al usuario especificar la cantidad de reglas que desea buscar. La búsqueda se realiza para encontrar reglas que tengan dos elementos y después reglas con mayor número de elementos para hacer crecer las reglas escaneando secuencias que se tienen para encontrar más reglas, los elementos se expanden a la izquierda o a la derecha, a esto último se le llama expansión izquierda y expansión derecha. El algoritmo TopSeqRules usa tres variables internas que son clave para su funcionamiento. Empezando con "*minsup*", siempre se fijará en 0 y podrá ajustarse dinámicamente cuando se generen reglas, la segunda, es un conjunto llamado "L" para mantener las reglas top-k descubiertas hasta el momento, las cuales tienen valores de soporte y confianza iguales a *minsup* y *minconf*. La tercera variable es un conjunto llamado "R" que actúa como contenedor para las reglas que deben expandirse y para tener la posibilidad de encontrar más reglas válidas.

CMRules

La minería de reglas de asociación secuenciales se ha destacado como una tarea importante, ya que los datos encontrados por esta tienen amplias aplicaciones, pero en la actualidad los algoritmos destinados para esta tarea utilizan definiciones que son

muy restrictivas lo que genera que sean incapaces de reconocer reglas iguales que describan un mismo fenómeno, por esta problemática se propuso el algoritmo CMRules [13], el proceso de búsqueda inicia encontrando reglas de asociación con el objetivo de disminuir el espacio de búsqueda de elementos que se presentan simultáneamente en múltiples secuencias. Posteriormente, descarta aquellas reglas de asociación que no cumplen con los umbrales mínimos de confianza y soporte, considerando el orden temporal. El algoritmo toma como entrada una base de datos de secuencias y los umbrales *minSeqSup* y *minSeqConf*, y produce como salida el conjunto de todas las reglas secuenciales en la base de datos que cumplen con estos umbrales. Se comprobó que CMRules exhibe mayor velocidad en conjuntos de datos donde el porcentaje de reglas de asociación secuenciales es alto, en contraste, con otro algoritmo llamado CMDeo que demuestra ser más rápido en conjuntos de datos densos donde las expansiones de reglas generan una proporción significativa de reglas válidas.

1.2 Situación tecnológica, económica y operativa de la empresa

El Instituto Tecnológico de Orizaba es una de las mejores casas de estudio de educación superior de todo el país, fue fundado el 13 de marzo de 1956, es perteneciente al Tecnológico Nacional de México, y oferta ocho diferentes programas educativos de nivel licenciatura: Ingeniería Industrial, Mecánica, Química, Electrónica, Eléctrica, Sistemas Computacionales, Gestión Empresarial e Informática, certificadas por el Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería (CACEI), y el Consejo Nacional de Acreditación en informática y Computación (CONAIC).

En el nivel de posgrado oferta cinco maestrías, en donde destaca la Maestría en Sistemas Computacionales, las otras maestrías son: Ingeniería Industrial, Ingeniería Electrónica, Ingeniería Administrativa, Ciencias en Ingeniería Química, también se ofrece un Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, todos reconocidos ante el Sistema Nacional de Posgrado del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) [14].

1.3 Planteamiento del problema

Los CAT son una evaluación dinámica en la que el orden y dificultad en que se administran los incisos al sujeto evaluado dependen de las respuestas anteriores del mismo. Estos tienen la capacidad de administrar incisos mientras se aumenta o disminuye el nivel de dificultad. Los CAT tienen un método de selección de ítems, ya que este es de suma importancia para el funcionamiento de este. En los últimos años se realizaron diversas propuestas para un mejor método de selección de ítems donde destaca una estrategia utilizando reglas de asociación [15]. Esta estrategia selecciona los ítems de acuerdo con la respuesta correcta o incorrecta del evaluado y una regla de asociación con mayor confianza y soporte. Sin embargo, actualmente no se tiene registro de un CAT que utilice reglas de asociación secuenciales para este propósito. Debido a esta problemática, en el presente proyecto se desarrolló un sistema de evaluación adaptativa que integra reglas de asociación secuenciales como método de selección de ítems. La minería de reglas secuenciales es una técnica importante, ya que al formar agrupaciones de registros con atributos que siguen una secuencia ordenada ayuda al propósito de un CAT, en este caso las respuestas contestadas generan patrones que llevan a una pregunta con mejor nivel de dificultad para el estudiante, por tal motivo se realizó un análisis de diferentes métodos de reglas de asociación secuenciales para elegir uno apropiado para utilizaren el sistema. También se analizaron las tecnologías a usar en el desarrollo de este, posteriormente se desarrolló el sistema CAT y se validó a través de un caso de estudio.

1.4 Objetivo general y específicos

En esta sección se presenta el objetivo general y los objetivos específicos del presente proyecto de tesis.

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema de evaluación adaptativa computarizada que utilice minería de reglas de asociación secuenciales para seleccionar ítems en las pruebas.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Estudiar los conceptos de CAT y minería de reglas de asociación para entender el alcance de la investigación.
2. Realizar un análisis comparativo de los métodos de minería de reglas de asociación secuenciales para elegir el que se utilizará en el sistema.
3. Seleccionar las tecnologías que se usarán para el desarrollo del sistema.
4. Diseñar el sistema de evaluación adaptativa computarizada basada en reglas de asociación secuenciales.
5. Implementar el sistema utilizando las tecnologías seleccionadas.
6. Validar el sistema por medio de un caso de estudio.

1.5 Justificación

El beneficio principal que se obtiene con el desarrollo del presente proyecto es que, se demostró que el uso de reglas de asociación secuenciales es óptimo para seleccionar preguntas en exámenes adaptativos computarizados. Además, el sistema propuesto tiene como ventaja que no solo se basa en las relaciones de ocurrencia de ítems, sino que toma en cuenta información secuencial de datos para predecir la ocurrencia futura de una respuesta con mayor precisión. Además de esto, se analizaron y compararon los resultados obtenidos por el sistema que utiliza reglas de asociación simples [15]. Este proyecto no generó un impacto económico debido a que se desarrolló de forma gratuita. También se pretende que los principales beneficiados sean los estudiantes al detectar de mejor manera su nivel de habilidad, ya que el sistema se basa en las respuestas correctas de la mayoría de los estudiantes que presentaron el mismo examen. Igualmente se tienen los beneficios de los CAT: 1) que el examen es adaptativo, 2) la obtención de resultados inmediatamente después de presentar el examen y 3) se responderán un menor número de preguntas.

Capítulo 2. Estado de la práctica

Este capítulo presenta a continuación una serie de trabajos relacionados con el presente proyecto de tesis, en cada uno de los trabajos se aprecia la problemática que resuelven, además de sus objetivos, principal aportación, la propuesta de solución y los resultados de cada uno.

2.1 Trabajos relacionados

En Pacheco-Ortiz et al. [15] el principal objetivo fue presentar un análisis comparativo de diferentes algoritmos de minería de reglas de asociación (ARM), que permita la selección de alguno de ellos para su implementación en un sistema de evaluación adaptativa computarizada. La primordial aportación fue la identificación del algoritmo más conveniente para integrarlo como método de selección de ítems. Para la comparación de los diferentes algoritmos que fueron: FP-Growth, PredictiveApriori, Tertius y Apriori, se evaluaron cuatro criterios, como son la confianza, el soporte, el tiempo y las reglas obtenidas, para dicha comparación se realizó la creación de una base de datos en MySQL, alimentada con exámenes aplicados a alumnos del curso de Bases de Datos de la Maestría de Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Orizaba con base en esto se establecieron dos matrices binarias, para la aplicación de los algoritmos antes mencionados utilizando la herramienta *Waikato Environment for Knowledge Analysis* (WEKA). En conclusión, el resultado fue que el algoritmo Apriori presentó un mejor desempeño y mayores ventajas en comparación con las otras opciones expuestas en el presente trabajo.

La autopsia es un procedimiento médico que permite el descubrimiento de nuevas enfermedades, la causa de muerte de pacientes fallecidos y el estudio de tratamientos tradicionales. Sin embargo, este procedimiento se encuentra en desuso por parte de un hospital del estado de Veracruz. Es por eso que en el trabajo elaborado por Rubio-Delgado et al. [16] se mostró un análisis muy completo de cuatro algoritmos de reglas de asociación: Apriori, FPGrowth, PredictiveApriori y Tertius, que comparó los criterios

de confianza, soporte, y el tiempo de generación de reglas, también se analizó el aprendizaje de redes Bayesianas con el fin de identificar los factores que influyeron en la reducción de la práctica de autopsias. Su propósito principal fue proponer una herramienta que ayude al departamento de patología a realizar un análisis del problema antes descrito. Para este análisis se desarrolló una base de datos en PostgreSQL, donde se almacenó la información obtenida de encuestas aplicadas al personal médico y se obtuvieron una matriz binaria, así como una vista minable. El resultado obtenido fue una aplicación web, que proporcionó una explicación acerca de la disminución de la aplicación de autopsias.

Los entornos de aprendizaje en línea (*E-learning*) ganaron popularidad y atención debido a que ofrecen una personalización del aprendizaje con el uso de tecnologías adaptativas. Debido a esto, el estudio realizado por Pliakos et al. [17] tuvo como principal objetivo desarrollar un sistema de aprendizaje que implemente IRT (*Item Response Theory*, Teoría de respuesta al ítem) y aprendizaje automático en un *framework* unificado. La aportación que su estudio propuso es el enfoque híbrido de la integración de Rasch junto con el uso de árboles de decisión incorporando características de un alumno nuevo y predecir su nivel de habilidad inicial, eliminando el problema del *cold start*. El nuevo enfoque híbrido se aplicó en dos conjuntos de datos reales, donde el primer conjunto de datos está conformado por las respuestas de un examen aplicado a 2044 estudiantes. Mientras que el segundo conjunto se obtuvo por la recopilación de datos de la plataforma Statistics-Online, además de estos conjuntos se utilizó la biblioteca Scikit-learn que incorpora algoritmos de aprendizaje automático y la biblioteca NumPy para el manejo de datos, ambas son pertenecientes al lenguaje Python. Como conclusión se descubrió que es posible implementar el enfoque híbrido en sistemas de evaluación adaptativa para ayudar a determinar las habilidades de nuevos alumnos.

Con la creciente utilización de dispositivos electrónicos y de fácil acceso a Internet, el área del aprendizaje en línea se convirtió en un tema de interés académico, ya que

uno de sus principales problemas es mantener a los estudiantes con un nivel de compromiso e interés alto, además de esto otro desafío que presentan es la identificación de alumnos que requieran ayuda para no afectar su rendimiento académico. Es por eso por lo que en el trabajo de Moubayed et al. [18] su principal objetivo fue estudiar la relación entre el nivel de compromiso de los estudiantes con su rendimiento académico. Su principal aporte es un conjunto completo de métricas de compromiso y su impacto en el desempeño académico de los estudiantes, para la obtención de estas métricas se utilizó un conjunto de datos obtenidos de 486 alumnos del curso de ciencias de segundo grado de la universidad norteamericana recopilados por el gestor de aprendizaje de la universidad. Además de esto se utilizó *Matrix Laboratory* (MATLAB) para la conversión de los datos y la herramienta WEKA para aplicación del algoritmo Apriori. En conclusión, gracias a las reglas de asociación se demostró que existe una relación positiva entre el nivel de compromiso de los estudiantes y su rendimiento.

Los sistemas CAT son de gran ayuda en el campo de la psicometría para determinar características como el nivel de comprensión lectora o el coeficiente intelectual de sujetos evaluados, en comparación con evaluaciones tradicionales, sin embargo, algunas de las técnicas de selección de ítems tienen un alto tiempo de espera para realizar sus cálculos. Es por eso que Rodríguez-Cuadrado et al. [19] presentaron el método merged Tree- CAT para crear sistemas de evaluación adaptativa computarizada basados en árboles de decisión, su principal aportación fue el trabajo con criterios de fusión diferentes, integrando distribuciones en lugar de muestras. Para esto se efectuaron experimentos comparando el método antes mencionado con el método Tree-CAT donde se utilizaron las respuestas de una evaluación aplicada a 792 participantes, de donde se obtuvieron un conjunto de datos de entrenamiento y uno de prueba. Los experimentos ejecutados arrojaron que el método *mergedTree-CAT* realiza sus operaciones con una computadora estándar, y que realiza la construcción de CAT en segundos, a diferencia del método Tree-CAT. En conclusión, el método propuesto es una herramienta ideal para la construcción de sistemas CAT.

Las evaluaciones computarizadas tuvieron un rápido crecimiento en los últimos años debido a que son capaces de realizar formularios de prueba automáticos, sin embargo, es muy difícil que estos formularios sean perfectamente uniformes debido a que para esto se utilizó IRT como método de calibración, que requiere mucho trabajo para diseñarlo y no tiene ninguna garantía de optimización. Por ello en el estudio procedido por Tsutsumi et al. [20] se propuso una IRT de aprendizaje profundo, Deep-IRT, donde su principal aportación fue una nueva teoría para aumentar la interpretabilidad de los parámetros. El método antes mencionado usados redes neuronales, una como capa de examinación y otra capa de ítems. Se utilizó el *framework Chainer* para la aplicación de Deep-IRT y 2PLM (2 *Parameter Logistic Models*, modelos logísticos de 2 parámetros) para implementación de IRT común, además de esto se usó la estimación de EAP (*Expected Apriori*, Apriori Esperado) con el algoritmo Markov Chain Monte Carlo (MCMC) para la estimación de parámetros, a partir de ello se realizaron diversos experimentos para valorar las habilidades de los sujetos evaluados. En conclusión, Deep-IRT se construyó para implementar dos redes neuronales profundas independientes y se mostró que se obtuvo una estimación de capacidad más confiable y sólida que el método IRT.

Los CAT tienen un desarrollo creciente debido a que son aplicables en diferentes áreas como la psicología, la medicina y la educación, además de esto ofrecen un nivel de personalización importante que permite tener mayor precisión que en pruebas tradicionales. En el trabajo elaborado por Rodríguez-Cuadrado et al. [21] se presentó el paquete para creación de pruebas adaptativas *cat.dt* que está basado en árboles de decisión. Este paquete se instala a través de un repositorio de GitHub, además de esto el paquete implementa las dependencias de *Matrix*, *Rglpk* y *ggplot2* para el manejo de matrices, programación lineal y visualización. Para la evaluación de desempeño se realizó una comparación con el paquete *catR*. Donde en cada escenario se construyó un CAT a partir de un conjunto de datos conformado de las respuestas de una prueba compuesta por cien ítems que se aplicó a un grupo de entre mil y cinco mil examinados. En conclusión, el paquete es capaz de crear la prueba antes de que se administre a los

examinados, lo que causa que su desempeño sea independiente del número de participantes a evaluar, y por esta razón es una herramienta ideal para aplicarse en grandes grupos y es ampliamente utilizada en el campo de los CAT.

En el trabajo realizado por Czibula et al. [22] se realizó un análisis de la predicción del rendimiento académico de los estudiantes, debido a que es un tema ampliamente discutido en la literatura acerca de minería de datos educativos, en donde se tiene el interés de aplicar métodos de aprendizaje supervisado y no supervisado para obtener información que ayude a saber si un alumno aprobará o reprobará alguna asignatura basada en las calificaciones que obtuvo en el semestre, sin embargo, esta sigue siendo una tarea difícil por las diferentes condiciones que presenta. Es por ello que su principal objetivo es proponer un nuevo modelo de clasificación que ayude a predecir el resultado de un estudiante en una disciplina específica utilizando reglas de asociación. La principal aportación de su trabajo fue el modelo de clasificación Predicción del rendimiento de los estudiantes mediante reglas de asociación relacional S PRAR (*Students Performance prediction using Relational Association Rules*). Para analizar el desempeño de este se emplearon tres conjuntos de datos reales de la Universidad Babeş-Bolyai, Rumania, que destacan la efectividad de la clasificación usando S PRAR. En conclusión, el modelo presentado predice exitosamente la finalización de un curso con base en las calificaciones recibidas por un estudiante durante el semestre, además cabe resaltar que el modelo se adapta fácilmente a problemas de clasificación binarios o de clases múltiples.

En la actualidad, la ciberseguridad usa la minería de datos para extraer patrones indistintos de los datos, como es el caso de las alertas de ataque, ya que la creación de patrones y reglas de ataque ayuda a la comprensión del campo de amenazas para los defensores. Sin embargo, el análisis de datos de alertas representa un problema de *big data* debido a que es un volumen grande de información. En el trabajo de Husák et al. [23] se exploró la minería de reglas secuenciales en el análisis de alertas de detección de intrusos, su principal objetivo es extraer un conjunto de datos pequeño y

maneje de entidades de red a partir del gran volumen de información obtenida además de resolver necesidades de la plataforma de Intercambio y análisis de eventos de seguridad SABU (*Sdílení a Analýza Bezpečnostních Událostí*). La aportación que tuvo su trabajo es un enfoque basado en la minería de reglas secuenciales para predecir el conocimiento de las alertas de detección de intrusos y utilizarlo para crear listas negras personalizadas y predictivas. Para realizar experimentos de funcionalidad, el enfoque propuesto usó un conjunto de datos de más de doce millones de alertas que se recopilaron de la plataforma SABU y se empleó el *framework* Análisis de Alertas de Detección de Intrusos (AIDA) para extraer reglas secuenciales. Como conclusión se extrajeron dieciséis reglas predictivas y se utilizaron para la prevención de eventos de ciberseguridad.

Las tecnologías de dispositivos móviles inteligentes ofrecen una accesibilidad importante a recursos en Internet sin importar las limitaciones de tiempo o de lugar. El análisis de datos de aprendizaje y de minería de datos educativos exploran el uso de datos para aumentar el conocimiento sobre entornos de aprendizaje y mejorar la calidad de la experiencia para los estudiantes. el objetivo de Doko et al. [24] fue proponer una metodología para realizar un historial de datos de aprendizaje de video de acuerdo con procesos a través de tecnologías móviles. Además de esto, su principal aporte es recomendar un modelo y arquitectura de sistemas de registros de visualización de videos que identifiquen temas de aprendizaje difíciles o más relevantes. Para esto se desarrolló una base de datos de secuencias que almacenó una serie de registros, donde cada registro eran secuencias de eventos ordenados, también se usó el algoritmo GSP (*Generalized Sequential Patterns*, Patrones secuenciales generalizados) que permitió efectuar una escala lineal de la cantidad de secuencias de datos. En conclusión, se presentó una descripción general del método de minería de patrones secuenciales para el análisis del historial de aprendizaje de datos de video.

El trabajo realizado por Real et al. [25] abordó el problema de descubrir patrones en rutas de aprendizaje de los estudiantes de un curso de introducción a la programación. El uso de técnicas de minería de procesos secuenciales ayuda al reconocimiento y extracción de patrones secuenciales de posibles comportamientos de estudiantes. Para esto se utilizaron técnicas como el algoritmo *Directly-Follows Graph* y secuencias de eventos del algoritmo GSP. Este estudio se llevó a cabo sobre un registro de eventos del curso de introducción a la programación realizado en la plataforma Moodle, dicho registro contiene ochenta y cinco mil setecientos cincuenta y nueve eventos que comparten seis atributos: dirección IP, marca temporal, nombre del estudiante, tipo de actividad a la que accede, título del evento, y nombre del evento. Además, se le aplicaron técnicas de minería de procesos (PM) para obtener información estadística. Cabe resaltar que para la aplicación de GSP se implementó la biblioteca de GSP-Py del lenguaje de programación Python. En conclusión, los resultados arrojados mostraron que los estudiantes tenían comportamientos diferentes y se logró verificar los modelos de proceso.

Desde el inicio de la pandemia mundial por COVID-19 en el año 2020 los cursos masivos en línea (*Massive Open Online Courses, MOOC*) se convirtieron en la principal experiencia de aprendizaje de millones de estudiantes alrededor del mundo, ya que brindan una accesibilidad flexible y asequible a escalas educativas de alta calidad, sin embargo, con la acumulación de datos de aprendizaje de los MOOC es posible mejorar aún más la calidad de los materiales, usando datos de comportamiento histórico de los alumnos. Para esto en el trabajo de Song y Ye [26] se propuso un algoritmo para la extracción de patrones secuenciales inesperados (USP). Durante el estudio se utilizó un conjunto de datos proporcionado por XuetangX que es una de las plataformas MOOC más grandes de china, el conjunto contiene registros de ochenta y dos mil quinientos treinta y cinco secuencias de inscripción a cursos. El algoritmo de patrones inesperados propuesto es *FAST-USP*, este algoritmo usa dos estructuras de listas, una lista de identificación de repuesto y una lista de identificación vertical para calcular soportes más eficientes. Para probar el desempeño del algoritmo

se realizó un análisis comparativo con el algoritmo *FAST*, en conclusión, teniendo en cuenta las características de datos MOOC, se propuso el algoritmo *FAST-USP* que mejora el algoritmo *FAST* y es más eficiente.

La enseñanza de idiomas siempre representa un reto para los profesores debido a que según estudios en algunas ocasiones algunos temas no son vistos en clase, otro problema importante es la limitada capacidad que algunos sistemas de prueba adaptativos computarizados tienen para proporcionar incisos de acuerdo con el grado de capacidad de los estudiantes, ya que las pruebas están basadas en el juicio de expertos, lo que provoca un gran consumo de tiempo. Bajo esta problemática, en el trabajo de Cheng et al. [27] su principal objetivo fue el desarrollo de una plataforma adaptativa de aprendizaje del idioma inglés. Para el impulso de esta se propuso como aportación un método para estimar el índice de dificultad de cada inciso basándose en la IRT y aplicando tecnología de *big data*. Durante el estudio se recopilaron cincuenta y tres mil ciento noventa y un registros de respuestas de exámenes aplicados a ciento sesenta y dos estudiantes de pregrado del departamento de Informática e Ingeniería de la Información de la Universidad de Taiwán. Para la prueba de la efectividad de la plataforma se llevó a cabo un análisis de los ítems resueltos basado en *big data* para ajustar automáticamente el índice de dificultad de cada prueba. En conclusión, se redujo el tiempo necesario para que los expertos y profesores ajusten el índice antes mencionado y se alinee con el nivel de habilidad de cada estudiante y lograr el propósito del CAT de inglés.

A medida que se avanza en grados académicos, el rendimiento obtenido se vuelve de suma importancia, ya que, en la mayoría de los casos, determina la admisión a instituciones de educación superior. En el sistema de educación secundaria de los Países Bajos existen tres principales inconvenientes: 1) las puntuaciones de un alumno no tienen un valor hasta que son comparadas con las de otro; 2) los puntajes entre materias no implican que el alumno sea mejor en una asignatura que, en otra, y 3) para los docentes es complicado hacer una combinación de puntajes de diferentes

pruebas para establecer consejos escolares. Con base en estas problemáticas, el principal objetivo de Niemeijer et al. [28] fue la propuesta de usar la IRT y el *Machine learning* (ML) para estimar el rendimiento de los alumnos. Para esto se usaron pruebas de chi-cuadrado, además de esto se calibró un modelo de Rash y se extrajeron estimaciones de capacidad usando EAP (*Expected a posteriori*, Posterior Esperada) y también se entrenaron modelos independientes como *Random forest* (RF) y una *neural network* (red neuronal, NN). En conclusión, se encontró que el ML superó a la IRT arrojando resultados más precisos.

Como se mencionó anteriormente, diversas circunstancias generaron que las plataformas de aprendizaje en línea (*E-learning*) sean herramientas innovadoras para los estudiantes. Sin embargo, existe la necesidad de monitorear la actividad de los estudiantes para realizar sugerencias, ya que por medio de una plataforma es muy difícil aconsejar a los estudiantes. Es por eso en el trabajo de Aktas y Aktas [29] se propuso como objetivo desarrollar una plataforma para detectar las acciones secuenciales en el comportamiento de los estudiantes. Su principal aportación fue el desarrollo de cuatro módulos: Analizador de registros, Procesamiento de datos, Minería de reglas secuenciales y Determinación de patrones en tiempo real. Los módulos se desarrollaron e implementaron sobre la plataforma Borfin de donde se extrajo el comportamiento de los estudiantes, además para el desarrollo de estos se usaron diferentes tecnologías como los algoritmos GSP, PrefixSpan, CMRules y se implementó la biblioteca Apache Spark. En conclusión, el sistema garantiza que los estudiantes reciban una educación más exitosa en la plataforma.

2.1 Análisis comparativo

Esta sección muestra la Tabla 2.1 donde se comparan los artículos que tiene relación con el presente trabajo y fueron mencionados en la sección de trabajos relacionados.

Tabla 2.1 Análisis comparativo de artículos relacionados

Artículo	Problema	Contribución	Tecnologías	Resultado
Pacheco-Ortiz et al. [15]	Encontrar un algoritmo de ARM para selección de ítems de un sistema de evaluación adaptativa computarizada.	Identificación de un algoritmo para su integración como método de selección de ítems.	MySQL, WEKA., Algoritmos FP- Growth, PredictiveApriori, Tertius y Apriori.	Se identificó al algoritmo Apriori como la mejor opción para método de selección de ítems.
Rubio-Delgado et al. [16]	Causa de la disminución de autopsias en un hospital del estado de Veracruz.	Propuesta de una herramienta de identificación de factores en la disminución de autopsias.	PostgreSQL, algoritmos FP- Growth, PredictiveApriori, Tertius y Apriori.	Se desarrolló una aplicación web que dio una explicación en lenguaje natural de la disminución de autopsias.
Pliakos et al. [17]	Falta de información de nuevos alumnos y el problema de <i>cold start</i> .	Un enfoque híbrido que utilice IRT y aprendizaje automático.	Bibliotecas Scikit- learn y NumPy, lenguaje de programación Python.	Enfoque híbrido implementado en sistemas de evaluación adaptativos.

Tabla 2.1 Análisis comparativo de artículos relacionados (continuación)

Artículo	Problema	Contribución	Tecnologías	Resultado
Moubayed et al. [18]	Mantener un nivel de compromiso e interés alto en estudiantes y la identificación de alumnos que requieran ayuda para no afectar su rendimiento académico.	Conjunto completo de métricas de compromiso y su impacto en el desempeño académico de los estudiantes.	MATLAB, Weka y algoritmo Apriori.	Conjunto de reglas que demostró la relación que existe entre el nivel de compromiso de los estudiantes y su desempeño.
Rodríguez- Cuadrado et al. [19]	Algunas de las técnicas de selección de ítems tienen un alto tiempo de espera para realizar sus cálculos y altos requerimientos computacionales.	Propuesta del método Merged Tree-CAT bajo criterios de fusión integrando distribuciones.	Método Merged Tree-CAT, método Tree- CAT, método Eligibility y método Ranmesque.	El método mergedTree-CAT como una herramienta ideal para la construcción de sistemas adaptativos computarizados.
Tsutsumi et al. [20]	Dificultad para encontrar uniformidad en formularios, falta de garantía de optimización y mucho trabajo de diseño.	Nueva teoría para aumentar la interpretabilidad de parámetros.	Framework Chainer, algoritmo MCMC, Método EAP, 2PLM	Método Deep-IRT, se demostró que obtuvo una mejor estimación de capacidad.

Tabla 2.1 Análisis comparativo de artículos relacionados (continuación)

Artículo	Problema	Contribución	Tecnologías	Resultado
Rodríguez Cuadrado et al. [21]	Tiempo computacional alto de filtraciones de ítems	Presentación del paquete cat.dt para creación de pruebas adaptativas.	Dependencias Matrix, Rglpk y ggplot2, paquete catR, GitHub.	Paquete capaz de crear la prueba antes de que se administre a los examinados, lo que causa que su desempeño sea independiente del número de participantes a evaluar.
Czibula et al. [22]	Dificultad para predecir si un alumno aprobará o reprobará una materia, basada en sus calificaciones obtenidas.	Proponer un nuevo modelo de clasificación que ayude a predecir el resultado de un estudiante en una disciplina es utilizando reglas de asociación.	<i>Relational association rules</i> (RAR), modelo SPRAR.	El modelo SPRAR predice exitosamente la finalización de un curso con base en las calificaciones recibidas por un estudiante durante el semestre.
Husák et al. [23]	Problema de <i>big data</i> por el gran volumen de información de alertas por ataques.	Proponer un enfoque basado en minería de reglas secuenciales.	<i>Framework</i> AIDA, plataforma SABU.	Dieciséis reglas de asociación para la prevención de eventos de ciber seguridad.

Tabla 2.1 Análisis comparativo de artículos relacionados (continuación)

Artículo	Problema	Contribución	Tecnologías	Resultado
Doko et al. [24]	Falta de un sistema de registros de visualización de videos.	Recomendar un modelo y arquitectura de sistemas de registros de visualización de videos que identifiquen temas de aprendizaje difíciles o más relevantes.	Algoritmo GSP, bases de datos de secuencias.	Descripción general del método de minería de patrones secuenciales para el análisis del historial de aprendizaje de datos de video.
Real et al. [25]	Falta de patrones en rutas de aprendizaje de estudiantes de un curso de Introducción a la Programación.	Propuesta del uso de técnicas de minería de procesos secuenciales.	Algoritmo DFG, GSP, lenguaje de programación Python, biblioteca GSP-Py.	Patrones de comportamiento de los estudiantes y verificación de los modelos de proceso.
Song y Ye. [26]	Acumulación de datos de aprendizaje para mejorar la calidad de MOOCS.	Propuesta de un algoritmo para la extracción de patrones inesperados.	Plataforma XuetangX, algoritmos FAST y FAST-USP.	Algoritmo FAST-USP como mejora del algoritmo FAST.

Tabla 2.1 Análisis comparativo de artículos relacionados (continuación)

Artículo	Problema	Contribución	Tecnologías	Resultado
Cheng et al. [27]	Dificultad para proporcionar incisos de acuerdo con el nivel de habilidad y capacidad de los estudiantes.	Una plataforma de aprendizaje adaptativa para el idioma inglés.	IRT, <i>Big data</i>	Reducción del tiempo de ajuste en el índice de dificultad de los ítems en exámenes del idioma inglés.
Niemeijer et al. [28]	El puntaje de un alumno no tiene valor hasta ser comparado con el de otro, el puntaje de diferentes materias no significa que un alumno sea mejor en una materia que otra, y para los profesores es difícil comparar puntajes.	Propuesta del uso de IRT y ML para la estimación del rendimiento de alumnos.	IRT, ML, Modelo de Rash, RF, NN y algoritmo EAP.	El ML arrojó mejores resultados que la IRT y se logró estimar correctamente el rendimiento de los alumnos.
Aktas y Aktas [29]	No se tiene la capacidad de monitorear el comportamiento de los alumnos para realizar sugerencias de aprendizaje.	El desarrollo de una plataforma de cuatro módulos: Analizador de registros, Procesamiento de datos, Minería de reglas secuenciales y Determinación de patrones en tiempo real	Algoritmos GSP, PrefixSpan, CMRules, biblioteca Apache Spark, lenguaje de programación Python.	El sistema garantiza el éxito de los estudiantes de la plataforma Borfin.

Luego del análisis de los trabajos relacionados se concluye que todos ellos usan técnicas de minería de datos para alcanzar sus objetivos y dar solución a problemáticas de diferentes áreas como educación y medicina, en la tabla presentada anteriormente se observan trabajos como [12] donde se muestra el uso de algoritmos FP-Growth, PredictiveApriori, Tertius y Apriori para la identificación de uno de ellos como método de selección de ítems en un CAT, además de esto también se presenta el uso de herramientas como WEKA y MySQL.

Por otro lado, en el trabajo realizado por [13] se elaboró un análisis de diferentes características de los algoritmos antes mencionados para el descubrimiento de la causa del desuso de autopsias en un hospital del estado de Veracruz, donde también se aplicó el aprendizaje de redes Bayesianas y una base de datos en PostgreSQL. En [14] se implementaron otras tecnologías como la IRT y el ML para un sistema de aprendizaje en línea. Además, se integraron árboles de decisión y se usaron bibliotecas como Scikit-learn y NumPy para el manejo de datos.

También se obtuvieron reglas de asociación en [15] para demostrar cómo el nivel de compromiso de los estudiantes tiene un impacto directo con su nivel de desempeño y de igual forma fueron de utilidad para identificar alumnos que requieran ayuda académica, para esto se usaron datos que se obtuvieron de cuatrocientos ochenta y seis alumnos de un curso de la universidad norteamericana, este trabajo utilizó nuevamente la herramienta WEKA para la aplicación del algoritmo Apriori.

Además, de esto se habló de cómo los CAT son una herramienta importante en el campo de la psicometría, ya que ayuda a la identificación del nivel de comprensión lectora de personas evaluadas, por eso en [16] se presentó el método merged Tree-CAT para crear sistemas de evaluación adaptativos computarizados basados en árboles de decisión, este método fue comparado con Tree-CAT convencional y se encontró que el primero es ideal para la construcción de los sistemas antes mencionados.

Sin embargo, se observó que los CAT tienen el problema de que sus formularios no son perfectamente uniformes por la utilización de IRT como método de calibración de los mismos, esto requiere mucho trabajo para su diseño y no tiene ninguna garantía de optimización, debido a esto se observó que en [17] se propuso el método Deep-IRT para incrementar la interpretabilidad de los parámetros, este trabajo utilizó el *framework* Chainer para la implementación del método presentado y se usaron los algoritmos EAP y MCMC, que dieron como resultado una estimación de capacidad más alta y confiable. Siguiendo con el tema de los árboles de decisión, en [18] se presentó el paquete cat,dt, este implementa las dependencias de Matrix, Rglpk y ggplot2 para el manejo de matrices, programación lineal y visualización, para comprobar la funcionalidad del paquete se comparó con el paquete catR, dicha comparación y análisis demostraron la efectividad de cat.dt en la aplicación de evaluaciones en grupos muy grandes.

En los trabajos analizados también se observa el uso de minería de datos educativos, donde su principal interés fue la aplicación de métodos supervisados y no supervisados para determinar si un alumno aprobará o reprobará una asignatura, es por eso que [19] presentó el modelo de clasificación S PRAR que se probó en la Universidad Babeş-Bolyai de Rumania. Dentro del área mencionada también está [21] que propuso una metodología para realizar un historial de datos de aprendizaje de video, donde usó el algoritmo GSP que ayudó a realizar una escala de cantidad de secuencias de datos. Otro trabajo que se analizó en la tabla es el [22] que tocó el tema de descubrir patrones de rutas de aprendizaje usando minería de reglas secuenciales aplicando DFG y nuevamente GSP y también minería de procesos.

Otro de los trabajos analizados anteriormente es el de [23] que propuso el algoritmo de extracción de patrones inesperados FAST-USP que es una mejora de FAST para esto se utilizó un conjunto de datos proporcionado por la plataforma XuetangX que es una de las plataformas MOOC más grandes de China, el conjunto contiene registros de ochenta y dos mil quinientos treinta y cinco secuencias de inscripción a cursos.

También en [24] se desarrolló una plataforma adaptativa de aprendizaje del idioma inglés y se propuso un método para estimar el índice de dificultad de cada inciso basándose en la IRT y aplicando tecnología de big data. Además, en [25] se propuso integrar ML y un modelo de Rash y se entrenaron modelos independientes como Random Forest y una red neuronal. Además de esto, otro trabajo para tener en cuenta es el [23] que dio respuesta a problemas de *big data* de alertas de ciberseguridad donde se exploró la minería de reglas secuenciales para implementar un sistema sobre la plataforma SABU y predecir posibles ataques, en este mismo trabajo se usó el *framework* AIDA para extraer las reglas mencionadas. Y, por último, se analizó [26] que desarrolló una plataforma para detectar las acciones secuenciales en comportamiento de los estudiantes.

Todos los artículos citados en este capítulo tienen una relación importante con el tema de tesis presente por el uso de reglas de asociación o CAT, ya que en este trabajo se desarrolló un sistema CAT basado en reglas de asociación secuenciales.

2.3 Propuesta de solución

Debido a la problemática que se describe en el capítulo uno, se propuso desarrollar un sistema de evaluación adaptativa computarizada basada en reglas de asociación secuenciales. El sistema propuesto logra que cada elemento de la evaluación sea apropiado para el nivel de capacidad del sujeto examinado. El sistema CAT cuenta con un grupo de elementos calibrados con anterioridad y un punto de partida, para que el algoritmo de selección de ítems basado en reglas de asociación secuenciales determine cuál es el ítem que se administra, donde la selección de la pregunta depende de las respuestas de otros estudiantes y de las respuestas anteriores del mismo sujeto evaluado. Las reglas de asociación secuenciales se obtienen con la ayuda de la herramienta de minería de datos SPMF (*Sequential Pattern Mining Framework*, Marco de trabajo de minería de patrones secuenciales) a partir de un conjunto de datos, dichas reglas indican cuáles son las preguntas más adecuadas para el estudiante. Posteriormente se aplica un criterio de terminación de la evaluación que

para este caso se calibra por el número de elementos administrados y, por último, los elementos se califican por un procedimiento de puntuación y se entrega la puntuación final al sujeto.

A continuación, se explican las tecnologías utilizadas para el desarrollo del sistema. Java es un lenguaje de programación orientado a objetos, que tiene como objetivo ejecutar programas sin importar el sistema operativo que se tenga. Java ofrece desempeño, versatilidad, portabilidad y la seguridad que las aplicaciones actuales requieren [30]. Java se desarrolló en el año de 1990 en Sun Microsystems, por James Gosling. Originalmente este lenguaje fue nombrado Oak, sin embargo, dicho nombre ya había sido registrado por otra empresa [31]. Java cuenta con diferentes características como la simplicidad, ya que elimina la complejidad de lenguajes como “C”, a pesar de manejar una sintaxis muy similar a este y “C++”, otra característica importante es que se tienen ciertas políticas que evitan la codificación de virus con este lenguaje, además de esto como se mencionó anteriormente Java es capaz de ejecutarse por cualquier computadora sin importar el sistema que tenga, ya que únicamente se instala el intérprete del mismo, también es un lenguaje que soporta múltiples *threads*. Además de esto es un lenguaje robusto que se ejecuta en su propia máquina virtual, por lo tanto, se maneja la memoria de forma automática, sin necesidad de indicar nada más, por último, Java no es solo un lenguaje de programación, es también una plataforma que permite el desarrollo de aplicaciones web, de escritorio, aplicaciones móviles, entre múltiples usos que tiene [27].

JavaServer Faces es un marco de trabajo que está diseñado para el lenguaje de programación. Java y ayuda a simplificar el desarrollo web. Este se eligió debido a que con ayuda del patrón de diseño MVC (Modelo-Vista-Controlador) se hace una separación entre la presentación de interfaces de usuario y la lógica de la aplicación [32], lo que facilita el mantenimiento del sistema y el crecimiento de este. Además de esto, JSF facilita la administración de la navegación entre las páginas de una aplicación web, otra característica con la que cuenta es la posibilidad de integración

con otras tecnologías de Java EE, por ejemplo, *Enterprise JavaBeans* (EJB) y también *Java Persistence API* (JPA), también cabe resaltar que para este marco de trabajo existen una gran variedad de bibliotecas de componentes de código abierto personalizados. JSF cuenta con una gran documentación desde el sitio web de Oracle.

Bootstrap es un marco de trabajo utilizado para el desarrollo *Front-end* de sitios web, este utiliza un sistema de columnas y filas denominado *grid*, que facilita el diseño web responsivo. Además de esto, cuenta con variados componentes como, por ejemplo, tarjetas, botones, y formularios, una característica importante es que dichos componentes son reutilizables, fáciles de integrar a cualquier proyecto y consistentes en estilo [33]. También Bootstrap, es compatible con varios navegadores, lo que facilita la creación de páginas web que sean funcionales en diversos entornos. Bootstrap desde su propia página ofrece una documentación muy amplia que describe cómo utilizar sus componentes y características, lo que hace que el mismo sea fácil de comprender, y ayuda a resolver posibles problemas que surjan durante el desarrollo. Bootstrap cuenta con una comunidad muy grande de programadores que aportan con mejoras y ampliaciones al marco de trabajo. Esto implica que en todo momento existen recursos y posibles soluciones disponibles en la red.

Apache NetBeans es un entorno de desarrollo de código abierto, que se utiliza ampliamente para el desarrollo de aplicaciones web en Java, sin embargo, admite diferentes lenguajes de programación, por ejemplo, PHP, C++ y C# [34]. Este igual permite el trabajo con marcos de trabajo como en el caso del antes mencionado. Este entorno, es considerado multiplataforma, debido a que es compatible con sistemas operativos Windows, MacOS, y Linux, otra característica por la cual se seleccionó, es que facilita la creación, así como la gestión de proyectos, debido a que integra herramientas de construcción como Maven y Ant. Además, es capaz de importar proyectos ya existentes, generar aplicaciones web, y empresariales, entre otras. Por otra parte, permite el trabajo en equipo y un amplio control de versiones usando sistemas como Git y Mercurial que ayudan al seguimiento de cambios en el código,

por último, al ser un entorno de código abierto dirigido por *Apache Software Foundation* este cuenta con una gran comunidad activa de desarrolladores, y usuarios, que contribuyen al crecimiento de este, además de ofrecer soporte a través de foros.

MySQL es un sistema gestor de bases de datos que fue desarrollado por *Oracle Corporation* y está escrito en los lenguajes de programación C y C++. Este gestor es distribuido por una licencia GNU (*Gnu is Not Unix*), y es gratuito, cuenta con una comunidad muy activa en Internet. Es un gestor rápido para el procesamiento de consultas, tiene compatibilidad con ACID (*Atomicity, Consistency, Isolation and Durability*) que son las características de los parámetros que permiten clasificar las transacciones de los sistemas de gestión de bases de datos, además es un gestor fácil de usar, cuenta con soporte completo para cláusulas select, where, group by, order by, y soporte de funciones de agrupación. Además de esto ofrece un sistema de usuarios y privilegios para los mismos, mediante el tráfico de contraseñas cifradas para conectarse a un servidor. MySQL server es capaz de soportar hasta 50 millones de registros. Por último, este gestor cuenta con su propio paquete de pruebas de rendimiento [35].

SPMF (*Sequential Pattern Mining Framework*, marco de trabajo de minería de patrones secuenciales), es una herramienta de minería de datos y de análisis de secuencias para el descubrimiento de patrones que suceden en secuencia en conjuntos de datos, los patrones secuenciales que proporciona el marco, son útiles para una gran diversidad de aplicaciones como análisis de registros de transacciones, detección de secuencias en eventos en series temporales, recomendación de recursos, predicción de comportamiento y la toma de decisiones, entre otros. El SPMF cuenta con 254 algoritmos de diferentes técnicas de minería de patrones secuenciales, por ejemplo, la misma minería de patrones secuenciales, predicción de secuencias, minería de conjuntos de elementos, minería de patrones periódicos, minería de patrones gráficos y por supuesto minería de reglas de asociación secuenciales que son de vital importancia para este proyecto, por ejemplo, CMRules y TopSeqRules [36].

UWE es el acrónimo en inglés de ingeniería web basada en UML, esta metodología tiene como objetivo utilizar el lenguaje común para definir un mapeo a lo largo de diferentes fases que son captura de requisitos, análisis, diseño e implementación. Esta metodología se usa generalmente para el desarrollo web, debido a esto se seleccionó como óptima para el desarrollo de este sistema, ya que una característica importante es que está dirigida por modelos, que se describen a continuación:

- **Modelo de análisis de datos:** es donde se realiza el levantamiento de requerimientos y se comprenden los usuarios finales y los objetivos que debe alcanzar la aplicación web a través del diagrama de casos de uso.
- **Modelo de contenido:** este se encarga de representar las páginas y componentes clave de la aplicación web a través del diagrama de clases.
- **Modelo de navegación:** proporciona una representación clara y concisa de cómo los diferentes usuarios navegarán y utilizarán la aplicación web.
- **Modelo de presentación:** está centrado en la representación de cómo se muestra el contenido e información de la aplicación web
- **Modelo de procesos:** muestra cómo se realizan las actividades del usuario.

Capítulo 3 Aplicación de la metodología

En este capítulo se lleva a cabo la aplicación de la metodología. Este se divide en tres secciones donde en la primera se lleva a cabo un análisis de diferentes trabajos relacionados con técnicas de minería de patrones secuenciales, para conocer cuáles son las técnicas que existen y seleccionar la más adecuada para utilizarse en el sistema, en la segunda sección se muestra el diseño del sistema para la integración de la técnica y la especificación de esta.

3.1 Análisis

Para llevar a cabo el cumplimiento del objetivo general y de algunos objetivos específicos se realizó un análisis de trabajos relacionados con técnicas de minería de patrones secuenciales. En la Figura 3.1 se muestra la metodología que se empleó para la búsqueda, análisis y revisión sistemática de un total de 38 artículos científicos en las bases de datos en línea de las principales editoriales de Ciencias de la computación, por ejemplo: *IEEE Xplore*, *ACM digital library*, *SpringerLink*, *ScienceDirect*, y otras. Las palabras clave que se utilizaron son: *Sequential Pattern Mining (SPM) and Education*, durante la selección se descartaron aquellos artículos escritos en español o que formaban parte de trabajos de tesis, además solo se consideraron los que fueron publicados en el rango de los años 2017 al 2022. Posteriormente se realizó un análisis comparativo usando ocho criterios: 1) los algoritmos utilizados, 2) las tecnologías empleadas, 3) el área de estudio en la que se centró cada trabajo (Informática, Idiomas, entre otras), 4) el nivel de estudio considerado (primaria, secundaria y superior), 5) los conjuntos de datos usados, 6) el problema abordado, 7) el año de publicación, y 8) la editorial.

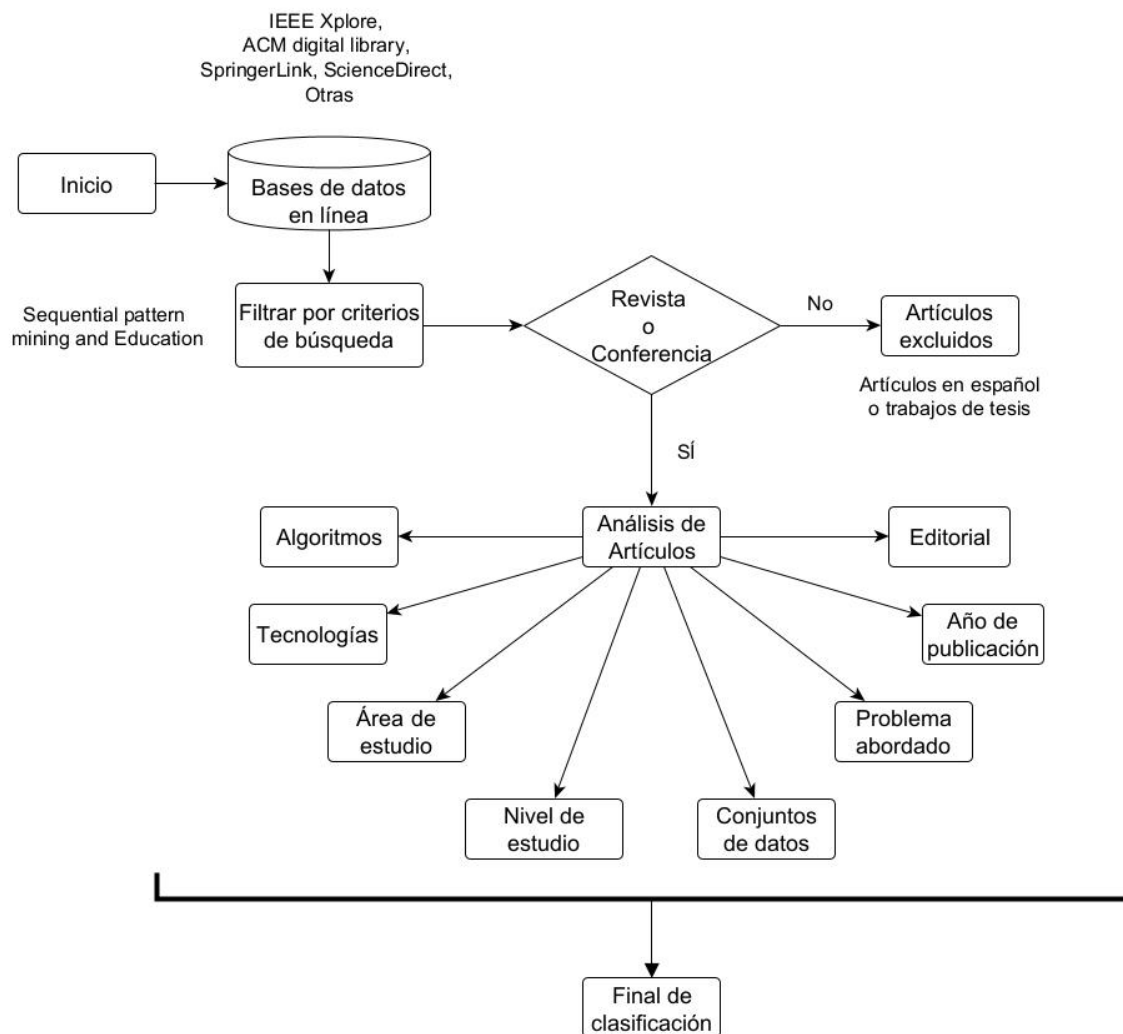


Figura 3. 1 Metodología de análisis y criterios de selección

En la Tabla 3.1 se encuentra la comparación de los treinta y ocho artículos que fueron seleccionado para su análisis donde se especifica que contribución tuvieron, algunas de sus tecnologías, y muy brevemente los resultados que obtuvieron.

Tabla 3.1 Tabla comparativa de artículos relacionados

Artículo	Problema abordado	Contribución	Algoritmo de SPM	Tecnologías	Resultados
Tarus et al. [37]	Sobrecarga de información para los alumnos y diferentes necesidades de aprendizaje.	Propuesta de un enfoque híbrido que combina minería de patrones secuenciales.	CF (<i>Collaborative filtering</i>), CA y GSP (<i>Generalized Sequential Pattern Mining</i>).	No se menciona.	El algoritmo propuesto (GSP-CA-CF) proporcionó una mayor precisión en comparación de otros.
Anwar et al. [38]	Escasez de información para la recomendación de libros.	Un sistema de recomendación de libros personalizado.	PrefixSpan, Topseq y CF.	No se menciona.	El sistema CD-SPM recomendó libros con una mayor precisión.
Zheng et al. [39]	Falta de investigaciones sobre procesos de aprendizaje colaborativo	Secuencias de actividades regulatorias auto compartidas	No se menciona.	No se menciona.	Se encontró nueva evidencia con respecto a patrones secuenciales en actividades regulatorias compartidas.

Tabla 3.1 Tabla comparativa de artículos relacionados (continuación)

Artículo	Problema abordado	Contribución	Algoritmo de SPM	Tecnologías	Resultados
Wong et al. [40]	Falta de información sobre aprendizaje auto regulado en Cursos Masivos Abiertos en línea (<i>Massive Open Online Courses</i> , MOOCs).	Una nueva investigación en el campo del estudio del aprendizaje auto regulado y una exploración del uso de minería de patrones secuenciales.	cSPADE, <i>Sequential Pattern Discovery</i>	No se menciona.	Se encontró información útil acerca del comportamiento de aprendizaje de los alumnos y el aprendizaje auto regulado.
Liu et al. [41]	El alto costo computacional en la extracción de características semánticas para la clasificación de preguntas de inglés.	Propuesta de una fórmula mejorada para la obtención de información utilizando similitud semántica.	No se menciona.	No se menciona.	Se encontró que el enfoque propuesto obtuvo una precisión aproximada del 96 % y una precisión final de 90,4%, mayor a la de otros métodos existentes.
Qu et al. [42]	Falta de métodos para reflejar el proceso de aprendizaje de los estudiantes y afectaciones en la precisión predicción.	Propuesta de un algoritmo de patrones secuenciales descriptivos para extraer patrones de comportamiento de estudiantes.	DSP, GSP	No se menciona.	El método propuesto logro una tasa de precisión del 91% y una tasa de recuperación del 94%.

Tabla 3.1 Tabla comparativa de artículos relacionados (continuación)

Artículo	Problema abordado	Contribución	Algoritmo de SPM	Tecnologías	Resultados
Klašnja-Milićević et al. [43]	Falta de recomendación personalizada en recursos educativos.	Un enfoque híbrido para la implementación de técnicas de etiquetado colaborativo en un sistema de tutoría en línea.	No se menciona.	No se menciona.	El enfoque híbrido es el más exitoso y podría dar mejores resultados que otras tácticas más populares.
Zhu et al. [44]	El desarrollo de estrategias de instrucción que puedan promover de manera efectiva la colaboración de alta calidad entre los alumnos.	Una exploración de la colaboración deseada a través del uso de análisis de patrones secuenciales.	No se menciona.	No se menciona.	Los resultados no revelaron una diferencia clara en la diversidad general de los tipos de discurso observados en las dos condiciones.
Deeva et al. [45]	Falta de procesos que analicen, describan y representen el proceso educativo completo.	Descubrimiento de patrones locales a partir de datos basados en eventos y estudio del comportamiento de estudiantes después de recibir retroalimentación.	Miner y Alpha miner.	No se menciona.	Se reveló que el descubrimiento simple de minería de patrones locales es incapaz de lidiar con procesos con bajos niveles de abstracción de actividad.

Tabla 3.1 Tabla comparativa de artículos relacionados (continuación)

Artículo	Problema abordado	Contribución	Algoritmo de SPM	Tecnologías	Resultados
Taub et al. [46]	Evaluar cómo el monitoreo metacognitivo y el razonamiento científico afectaron a estudiantes en la resolución de juegos de aprendizaje.	Una investigación acerca de la razón de por la cual los estudiantes no logran autorregular su aprendizaje de forma efectiva.	No se menciona.	No se menciona.	Los resultados arrojaron que los participantes más eficientes fueron aquellos que probaron menos ítems parcialmente relevantes e irrelevantes.
Wan et al. [47]	Falta de información interpersonal entre alumnos de sistemas de recomendación y dificultad en la aplicación de técnicas de filtrado de trabajo colaborativo.	Enfoque de recomendación híbrido (SI-IFL) para mejorar la personalización y diversidad de recomendaciones.	PrefixSpan,	No se menciona.	Los resultados experimentales demuestran que SI-IFL puede proporcionar recomendaciones personalizadas y diversificadas, y muestra una eficiencia y adaptabilidad prometedoras en escenarios de aprendizaje electrónico.

Tabla 3.1 Tabla comparativa de artículos relacionados (continuación)

Artículo	Problema abordado	Contribución	Algoritmo de SPM	Tecnologías	Resultados
Al-Twijri et al. [48]	Dificultad para la planificación de cursos a largo plazo.	Proporcionar un índice de cursos basado en la secuencia de cursos tomados por alumnos y las calificaciones obtenidas por estudiantes graduados y un algoritmo de minería de patrones secuenciales.	(ES) ² P (<i>Evolutionary Search of Emerging Sequential Patterns</i>)	No se menciona.	Un algoritmo capaz de descubrir un conjunto reducido de patrones discriminativos que aumenta su frecuencia de un conjunto a otro.
Taub et al. [49]	Falta de implementación de estrategias de aprendizaje auto regulado por parte de estudiantes.	Implicaciones para el diseño de sistemas de tutoría inteligentes adaptativos que proporcionen un andamiaje y una retroalimentación individualizados basados en las diferencias individuales, como los niveles de conocimiento previo.	SPAM	No se menciona.	Los estudiantes con un conocimiento previo alto se involucraron en procesos que contenían estrategias cognitivas y estrategias metacognitivas; mientras que los estudiantes con un conocimiento previo bajo no lo hicieron.

Tabla 3.1 Tabla comparativa de artículos relacionados (continuación)

Artículo	Problema abordado	Contribución	Algoritmo de SPM	Tecnologías	Resultados
Norm Lien et al. [50]	Dificultad de profesores para predecir el comportamiento de estudiantes y así brindar una mejor orientación y falta de investigaciones sobre el tema.	Desarrollo de un modelo de predicción en el que se diseñó un problema STEM (<i>science, technology, engineering, and mathematics</i>).	GSP	Weka versión 3.8	La predicción experta sobre el progreso de los estudiantes en la resolución de un IDP (<i>ill-defined problems</i> , problemas mal definidos) tuvo un desempeño significativamente más débil que la predicción automática. Las predicciones van más allá de las capacidades de los docentes.
Yildirim et al. [51]	La educación a distancia es un proceso multidimensional y necesita de enfoques holísticos.	Un análisis de las características contextuales de datos del comportamiento de alumnos.	SPA	Weka 3 Java.	Los resultados mostraron que el comportamiento de los alumnos dentro del sistema varía según la edad y el programa educativo, además, también hubo cambio en el comportamiento cuando se les presentaron cursos con diseños diferentes.

Tabla 3.1 Tabla comparativa de artículos relacionados (continuación)

Artículo	Problema abordado	Contribución	Algoritmo de SPM	Tecnologías	Resultados
Zhang et al. [52]	Carencia de una definición operativa de estrategias, comprensión limitada de cómo los estudiantes aplican las estrategias y pocos enfoques sistemáticos y generalizables para medir y evaluar estrategias por parte de estudiantes.	Métodos sistemáticos para detectar, interpretar y analizar el uso de estrategias por parte de estudiantes.	DSM (Minería de Secuencial Diferencial)	No se menciona.	Se demostró la efectividad del marco de métodos propuesto para analizar los comportamientos y el desempeño de estudiantes.
Shih [53]	Herramientas de programación de bloques carecen de métodos de aprendizaje efectivos para los estudiantes.	Utilizar una aplicación educativa de programación visual en bloques para estudiantes universitarios y analizar sus patrones de comportamiento de aprendizaje.	SPMF (<i>The sequential pattern mining framework</i>)	SPMF. Python.	Se demostró que el método propuesto puede encontrar patrones de comportamiento de estudiantes de alto rendimiento y estudiantes de bajo rendimiento.

Tabla 3.1 Tabla comparativa de artículos relacionados (continuación)

Artículo	Problema abordado	Contribución	Algoritmo de SPM	Tecnologías	Resultados
Song et al. [54]	Mejorar la experiencia de aprendizaje, un enfoque prometedor es aplicar la minería de patrones secuenciales (SPM) para descubrir conocimiento útil en estos datos.	Nuevos algoritmos para la extracción de patrones secuenciales con restricciones flexibles en los datos de inscripción de MOOCs.	SPM-FC-L y SPM-FC-P	No se menciona.	Los resultados experimentales demostraron que los algoritmos propuestos descubrieron menos resultados que los, FSP (<i>frequent sequential patterns</i> , patrones secuenciales frecuentes).
Wang et al. [55]	Dificultad de alumnos y consejeros para la selección de cursos en el momento adecuado.	Un estudio de enfoques basados en secuencias para el sistema de recomendación de cursos e investigar un CRS (<i>course recommender system</i> , sistema de recomendación de cursos) basado en secuencias.	PrefixSpan.	No se menciona.	Creación de un sistema de recomendación de cursos para ayudar a los estudiantes a elegir los cursos adecuados para mejorar su rendimiento.

Tabla 3.1 Tabla comparativa de artículos relacionados (continuación)

Artículo	Problema abordado	Contribución	Algoritmo de SPM	Tecnologías	Resultados
Mudrick et al. [56]	Falta de investigaciones que usen el monitoreo metacognitivo empleando medidas en línea para estudiar	Creación un sistema de recomendación de cursos para ayudar a estudiantes con la selección de cursos adecuados para mejorar su rendimiento.	SPAM.	No se menciona.	No hubo diferencias significativas en respuestas a preguntas de inferencia para contenido con discrepancias de texto y gráficos y contenido sin discrepancias.
Taub et al. [57]	Pocos estudios sobre cómo la secuencia de comportamientos involucrados difiere en la prueba basada en juegos según el nivel de eficiencia y las emociones.	Un análisis sobre el monitoreo metacognitivo y el comportamiento de prueba de estudiantes universitarios durante el aprendizaje y el juego en un entorno de aprendizaje basado en juegos.	SPAM.	No se menciona.	Se demostró que los estudiantes con bajos niveles de eficiencia y altos niveles de expresiones faciales de emociones tenían la mayor cantidad de secuencias de comportamientos de prueba en general.
Yang [58]	Poca información sobre el comportamiento de aprendizaje efectivo de los estudiantes en internet.	Investigación y mejora de reglas de asociación y algoritmos de minería de patrones secuenciales para extraer comportamiento.	Apriori, AprioriAll, Apriori_M	Java	Presenta y analiza en detalle el algoritmo de reglas de asociación y el algoritmo de patrones de secuencia en la minería de datos, incluidos los conceptos relacionados.

Tabla 3.1 Tabla comparativa de artículos relacionados (continuación)

Artículo	Problema abordado	Contribución	Algoritmo de SPM	Tecnologías	Resultados
Bermudez et al. [59]	Limitaciones de PrefixSpan en generación de patrones de secuencia para usarse en servicios de tutoría de un GBLE (<i>Game-Based Learning Environment</i> , Entorno de aprendizaje basado en juegos).	Una versión extendida del algoritmo PrefixSpan que integra restricciones de intervalos de tiempo.	PrefixSpan, y PrefixSpan extendido	No se menciona.	Se demostró que la versión extendida tiene una mejora significativa en términos de tiempo de ejecución y el número de patrones de secuencia generados.
Cheng Tan et al. [60]	Dificultad para distinguir entre el ruido y la información durante el proceso de recolección de datos y agrupación de secuencias.	Propuesta del uso de un algoritmo genético para la eliminación del ruido en secuencias antes de que se agrupen, para mejorar la calidad del agrupamiento.	GA	No se menciona.	Se demostró que el algoritmo propuesto descubre secuencias limpias que mejorar significativamente el proceso de agrupamiento.

Tabla 3.1 Tabla comparativa de artículos relacionados (continuación)

Artículo	Problema abordado	Contribución	Algoritmo de SPM	Tecnologías	Resultados
Malekian et al. [61]	Estudiantes que ingresan a evaluaciones sin estar preparados, y falta de la predicción de la preparación de los mismos para ayudar a los profesores o entornos de aprendizaje.	Una serie de técnicas de aprendizaje automático y secuencias del comportamiento de los estudiantes.	MLP y LSTM	No se menciona.	Los resultados mostraron la efectividad de los modelos propuestos para estimar la preparación de los estudiantes, especialmente si se formulan los problemas de predicción utilizando modelos secuenciales y centrándose en el comportamiento general de los estudiantes.
Kong et al. [62]	Falta de hipótesis de cómo los estudiantes elaboran artefactos de código en la plataforma Scratch	Un enfoque semiautomático para permitir la recopilación y el análisis de datos escalables de los procesos de programación de los estudiantes en Scratch.	MG-FSM	No se menciona.	Se descubrieron patrones que ayudan a identificar qué construcciones usan los estudiantes comúnmente para una tarea determinada, varios tipos de comportamiento de retoques dentro de una tarea determinada y algunas indicaciones de los niveles de comprensión de los bloques por parte de los estudiantes.

Tabla 3.1 Tabla comparativa de artículos relacionados (continuación)

Artículo	Problema abordado	Contribución	Algoritmo de SPM	Tecnologías	Resultados
Latypova [63]	Limitaciones del uso de minería de patrones secuenciales a la mayoría de los trabajos con respuesta libre aplicado en la educación en ingeniería.	Propuesta de un método de trabajo con análisis de procesos de implementación de respuesta libre basado en minería de patrones secuenciales.	PrefixSpan	No se menciona.	El uso del método sugerido permite extraer patrones no deseados de implementación de WFR (<i>Works with Free Response</i> , funciona con respuesta libre) y las razones de su presencia. Además, el método permite definir estrategias típicas de implementación de tales obras y sus proporciones.
Fatahi et al. [64]	Falta de información para determinar automáticamente los estilos de aprendizaje de alumnos en un entorno de aprendizaje electrónico.	Propuesta de un enfoque de minería de patrones secuenciales para extraer patrones de comportamiento secuenciales frecuentes, que pueden separar a los alumnos con diferentes estilos de aprendizaje.	GSP	No se menciona.	Se demostró que los estudiantes con estilos de aprendizaje similares tienen patrones de comportamiento secuencial similares en la interacción con un entorno de aprendizaje electrónico.

Tabla 3.1 Tabla comparativa de artículos relacionados (continuación)

Artículo	Problema abordado	Contribución	Algoritmo de SPM	Tecnologías	Resultados
Pogorskiy et al. [65]	Cómo la pandemia exacerbó problemas asociados con las plataformas de aprendizaje, como, mayor exposición a distracciones y falta de apoyo.	Uso de un asistente de aprendizaje virtual como herramienta para recopilar el comportamiento de navegación web de los estudiantes en línea.	Algoritmo CM-SPAM	No se menciona.	Los resultados del examen revelaron la presencia de estacionalidad en el acceso a ciertos recursos web y patrones secuenciales estables en la navegación web del alumno que pueden asociarse con un comportamiento procrastinador.
He et al. [66]	La hipótesis de que las tradiciones sociohistóricas tienen el potencial de generar diferencias en la cognición en una encuesta sobre solución de problemas aplicada a adultos.	Cómo se pueden usar los datos de proceso para identificar patrones de comportamiento en una evaluación de resolución de problemas basada en computadora.	Método LCS	No se menciona.	Se encontró que los hombres eran más propensos que las mujeres a usar estrategias similares a las de referencia, mientras que las mujeres mostraron una mayor consistencia entre los ítems.

Tabla 3.1 Tabla comparativa de artículos relacionados (continuación)

Artículo	Problema abordado	Contribución	Algoritmo de SPM	Tecnologías	Resultados
Chen et al. [67]	Existe la correlación significativa y la relación causa-efecto entre la competencia de indagación científica, el tiempo de aprendizaje y el rendimiento del aprendizaje.	Un método de análisis sistemático para comprender los comportamientos de aprendizaje efectivos en un entorno basado en la minería de los procesos de aprendizaje de los estudiantes.	SPMF	SPMF	Se encontraron correlaciones positivas notables entre varios comportamientos de aprendizaje considerados, tales como correlaciones positivas notables existentes entre el tiempo de aprendizaje en el experimento de simulación de flotabilidad de investigación y el rendimiento de aprendizaje.
Czibula et al. [22]	Dificultad para predecir si un alumno aprobará o reprobará una materia, basada en sus calificaciones obtenidas.	Proponer un nuevo modelo de clasificación que ayude a predecir el resultado de un estudiante en una disciplina específica utilizando reglas de asociación.	RAR (<i>Relational association rules</i>), S PRAR	No se menciona.	El modelo S PRAR predice exitosamente la finalización de un curso con base en las calificaciones recibidas por un estudiante durante el semestre.

Tabla 3.1 Tabla comparativa de artículos relacionados (continuación)

Artículo	Problema abordado	Contribución	Algoritmo de SPM	Tecnologías	Resultados
Doko et al. [24]	Falta de un sistema de registros de visualización de videos.	Recomendar un modelo y arquitectura de sistemas de registros de visualización de videos que identifiquen temas de aprendizaje difíciles o más relevantes.	Algoritmo GSP	No se menciona.	Descripción general del método de minería de patrones secuenciales para el análisis del historial de aprendizaje de datos de video.
Real et al. [25]	Falta de patrones en rutas de aprendizaje de estudiantes de un curso de Introducción a la Programación.	Propuesta del uso de técnicas de minería de procesos secuenciales.	Algoritmo DFG, GSP, biblioteca GSP-Py	Python.	Patrones de comportamiento de los estudiantes y verificación de los modelos de proceso.
Song et al. [26]	Acumulación de datos de aprendizaje para mejorar la calidad de MOOCS.	Propuesta de un algoritmo para la extracción de patrones inesperados.	FAST y FAST-USP	No se menciona.	Algoritmo FAST-USP como mejora del algoritmo FAST.
Cheng et al. [27]	Dificultad para proporcionar incisos de acuerdo con el nivel de habilidad y capacidad de los estudiantes.	Una plataforma de aprendizaje adaptativa para el idioma inglés.	IRT	No se menciona.	Reducción del tiempo de ajuste en el índice de dificultad de los ítems en exámenes del idioma inglés.

Tabla 3.1 Tabla comparativa de artículos relacionados (continuación)

Artículo	Problema abordado	Contribución	Algoritmo de SPM	Tecnologías	Resultados
Niemeijer et al. [28]	El puntaje de un alumno no tiene valor hasta ser comparado con el de otro, el puntaje de diferentes materias no significa que un alumno sea mejor en una materia que otra, y para los profesores es difícil comparar puntajes.	Propuesta del uso de IRT y ML para la estimación del rendimiento de alumnos.	Algoritmo EAP.	No se menciona.	El ML arrojó mejores resultados que la IRT y se logró estimar correctamente el rendimiento de los alumnos.
Aktas et al. [29]	No se tiene la capacidad de monitorear el comportamiento de los alumnos para realizar sugerencias de aprendizaje.	El desarrollo de una plataforma de cuatro módulos: Analizador de registros, Procesamiento de datos, Minería de reglas secuenciales y Determinación de patrones en tiempo real.	GSP, PrefixSpan y CMRules.	Python.	El sistema garantiza el éxito de los estudiantes de la plataforma Borfin.

En la Tabla 3.2 se muestra un resumen del análisis comparativo de los trabajos relacionados considerando los cinco criterios que se consideran más relevantes para este trabajo: 1) Evaluación: Se observa que solo en dos trabajos se aplicaron métodos de minería de reglas de asociación secuenciales para evaluar a los estudiantes: [27] y [56] 2) Conjunto de datos real: La mayoría (74%) de los artículos revisados emplearon conjuntos de datos reales; 3) Datos universitarios: El 66% de los métodos revisados utilizaron datos de universidades para validar su estudio; 4) Herramienta de minería de datos: Solo dos trabajos mencionan que usaron WEKA (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*, Entorno de Waikato para el Análisis de Conocimiento) para implementar sus métodos: [50] y [51]; 5) Informática: El 13% de los artículos revisados se enfocaron en un área de Ciencias de la Computación diferente a Programación.

Tabla 3.2 Resumen del análisis comparativo

Artículos	1	2	3	4	5
Tarus et al. [37]		X	X		
Anwar et al. [38]		X			
Zheng et al. [39]		X	X		
Wong et al. [40]		X	X		
Liu et al. [41]	X	X	X		
Qu et al. [42]		X	X		
Klašnja-Milićević et al. [43]		X	X		
Zhu et al. [44]					
Deeva et al. [45]					
Taub et al. [46]		X	X		
Wan et al. [47]		X	X		
Al-Twijri et al. [48]					
Taub et al. [49]		X	X		
Norm Lien et al. [50]		X		X	

Tabla 3.2 Resumen del análisis comparativo (continuación)

Artículos	1	2	3	4	5
Yildirim et al. [51]		X	X	X	
Zhang et al. [52]		X	X		X
Shih [53]		X	X		
Song et al. [54]		X	X		
Wang et al. [55]					
Mudrick et al. [56]		X	X		
Taub et al. [57]		X	X		
Yang [58]					
Bermudez et al. [59]					
Cheng Tan et al. [60]		X	X		
Malekian et al. [61]		X	X		
Kong et al. [62]		X	X		
Latypova [63]		X	X		X
Fatahi et al [64]		X	X		X
Pogorskiy et al. [65]		X			
He et al. [66]		X			
Chen et al. [67]		X			
Czibula et al. [22]		X	X		
Doko et al. [24]		X			X
Real et al. [25]		X			
Song et al. [26]					
Cheng et al. [27]	X				
Niemeijer et al. [28]					X
Aktas et al. [29]					

3.2 Flujo de trabajo del sistema propuesto

En la Figura 3.2, se presenta el flujo de trabajo, basado en reglas de asociación secuenciales que se validó utilizando datos de exámenes de la materia Bases de Datos de la Maestría en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Orizaba. Se utilizó SMPF para obtener las reglas de asociación secuenciales. Por lo tanto, el sistema presentado cumple con todas las características de este análisis.

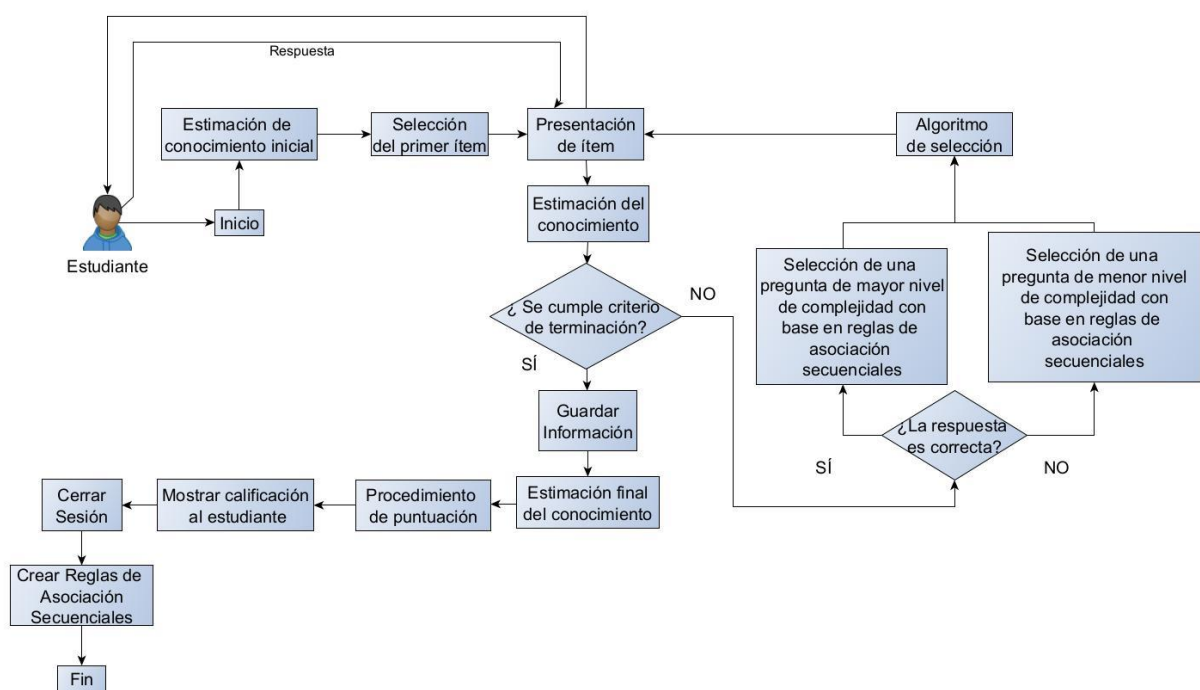


Figura 3. 2 Flujo de trabajo del sistema de evaluación adaptativa computarizada

A continuación, se describe el flujo de trabajo para el desarrollo del sistema de evaluación adaptativa computarizada basada en reglas de asociación secuenciales. El sistema desarrollado logra que cada elemento de la evaluación sea apropiado para el nivel de capacidad del sujeto examinado. El sistema CAT cuenta con un grupo de elementos calibrados con anterioridad y un punto de partida, para que el algoritmo de selección de ítems basado en reglas de asociación secuenciales determine cuál es el ítem que se administrará, donde la selección de la pregunta depende de las respuestas de otros estudiantes y de las respuestas anteriores del mismo sujeto evaluado.

El flujo de trabajo inicia cuando el estudiante comienza el examen, el sistema realiza la selección del primer ítem el cual se considera de dificultad media. El estudiante debe dar respuesta al ítem, entonces se analiza si se cumple con el criterio de parada, si no se cumple, el sistema continúa con el examen, y después analiza si la respuesta dada por el estudiante es correcta o incorrecta, en caso de ser correcta, el método de selección busca otra pregunta con mayor nivel de dificultad basada en una regla de asociación secuencial, y se presenta; en caso contrario, el método busca una pregunta con menor nivel de dificultad basada en una regla de asociación secuencial, este proceso se repite hasta cumplir con el criterio de parada, una vez terminado el examen, se guarda información necesaria para el sistema, se realiza una estimación final del conocimiento, y se muestra la calificación obtenida al estudiante, se cierra la sesión y se crean nuevas reglas de asociación secuenciales.

3.3 Desarrollo

En esta sección se presenta el diseño del sistema, que es una aplicación web, también se muestran los diversos diagramas como, por ejemplo, diagrama de base de datos y otros apegados a la metodología descrita en el Capítulo 2 descrito anteriormente.

A continuación, en la Figura 3.3 se expone la arquitectura elegida para el desarrollo del sistema, esta es Modelo, Vista, Controlador (MVC) donde el modelo representa la capa de datos, en este están los Java Beans del *framework* JSF, que actúan como contenedores de datos y definen las reglas de negocio, además de esto también definen cómo se procesa y almacena la información. La vista es la interfaz del usuario, al separar esta del modelo y el controlador se tiene una mayor flexibilidad de diseño, por último, el controlador es el encargado de gestionar las interacciones del usuario, dirigir los datos entre la vista y el modelo, además de gestionar el ciclo de vida de una página, también coordina las solicitudes entre vista y modelo para garantizar una comunicación eficiente y una mejor experiencia de usuario.

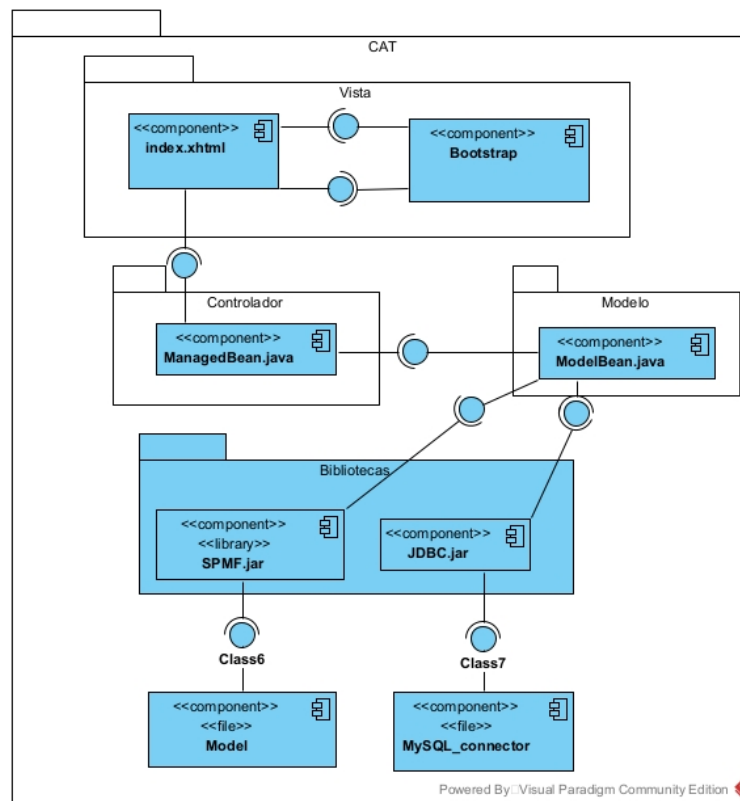


Figura 3.3 Arquitectura del sistema de evaluación adaptativa computarizada

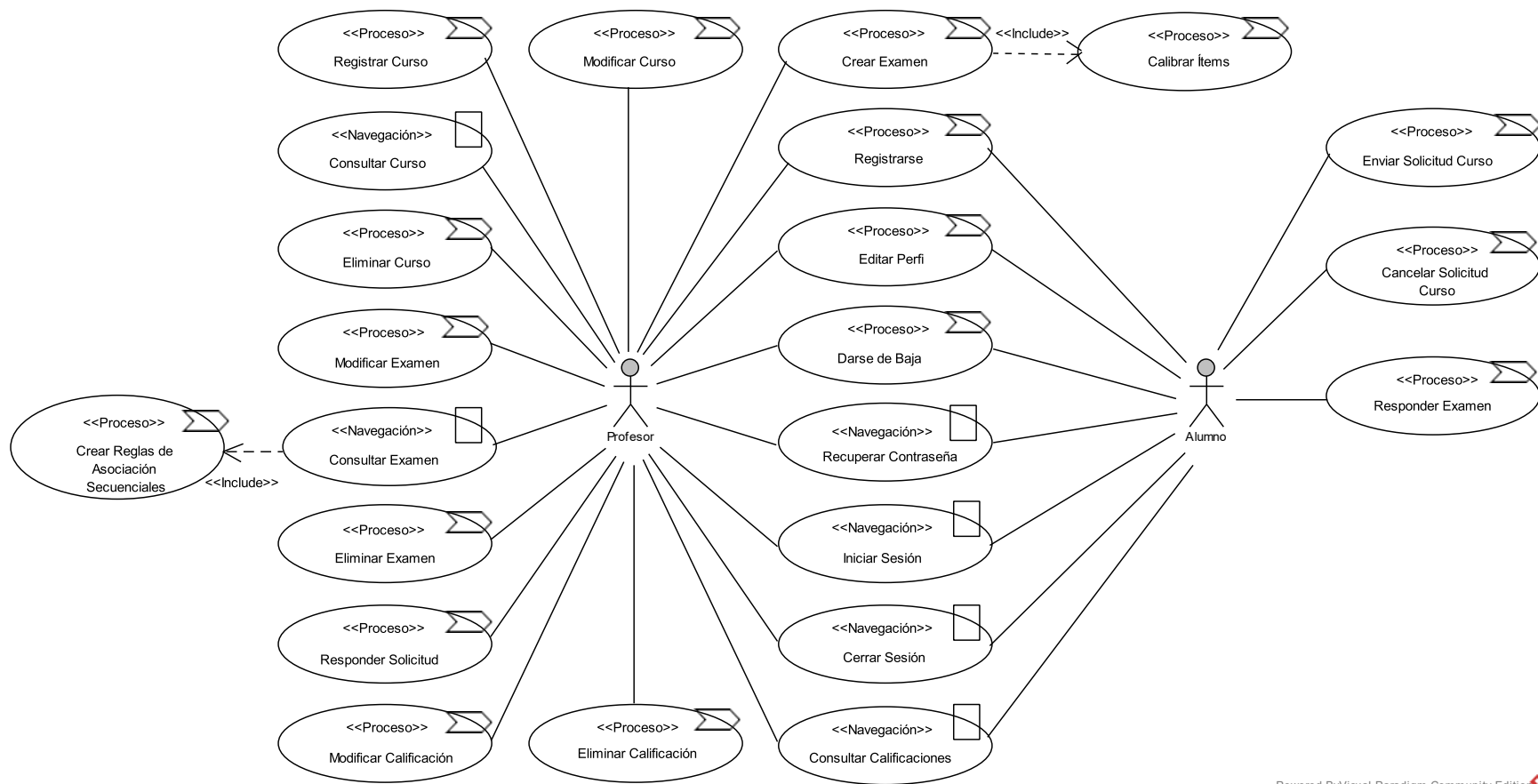
3.3.1 Análisis de requerimientos

En esta sección se cuentan los requerimientos funcionales del sistema de evaluación adaptativa computarizada, y son representados por medio de un diagrama de casos de uso, este diagrama muestra los usuarios que interactúan con el sistema y las acciones que realizan en el mismo, en la Tabla 3.3 se describen los actores del sistema.

Tabla 3.3 Descripciones de actores del sistema

Actores	Descripción
Profesor	Profesor es uno de los usuarios que se puede registrar en el sistema, al autenticarse obtiene permiso para consultar su información, actualizar la misma, realizar la recuperación de su contraseña, dar de baja su información del sistema, también cuenta con la capacidad de crear, consultar, actualizar y eliminar cursos, exámenes, calificaciones y usuarios, igualmente aceptar o negar solicitudes de alumnos; y por último, cerrar sesión.
Alumno	Alumno es uno de los usuarios que se puede registrar en el sistema, al autenticarse obtiene permiso para consultar su información, actualizar la misma, realizar la recuperación de su contraseña, dar de baja su información del sistema; realizar solicitudes para un curso, cancelar la misma; responder exámenes; consultar calificaciones; y cerrar sesión.

Luego de la identificación de cada usuario, y la especificación de diferentes acciones que llevan a cabo dentro del sistema, en la Figura 3.4 se representan las relaciones que tienen entre sí, por medio de un diagrama de casos de uso. Como se explicó anteriormente en las descripciones de usuario, estos deben autenticarse para realizar las operaciones asignadas, esta acción también les da la posibilidad de cerrar sesión en cualquier momento. El usuario de tipo Profesor es encargado de gestionar la información de cursos y de exámenes, es por ello que cuenta con la capacidad de realizar nuevos registros de los mismos, y a su vez consultar, actualizar o eliminar alguno de los registros existentes, también está capacitado para consultar, actualizar y eliminar las calificaciones obtenidas por los alumnos, así mismo posee autorización para consultar su propia información en el apartado de perfil, también solicitar un restablecimiento de contraseña y darse de baja del sistema.



Powered ByVisual Paradigm Community Edition

Figura 3.4 Diagrama de casos de uso del sistema

El siguiente usuario es el de tipo Alumno que posee la capacidad de realizar una solicitud para incorporarse a un curso, y también puede realizar la cancelación de esta, igualmente es quien contesta exámenes, al terminar la realización de este, el sistema realiza un procedimiento automático para la creación de nuevas reglas de asociación secuenciales con base en las respuestas dadas por el usuario Alumno. El Alumno tiene la autorización para consultar las calificaciones que obtuvo y de consultar y actualizar la información de su perfil, al igual que el usuario anterior puede solicitar el restablecimiento de su contraseña y darse de baja del sistema.

Anteriormente se describió el diagrama de casos de uso que muestra las relaciones de los actores con el sistema, y muestra los requerimientos funcionales. A continuación, se realiza una descripción de cada caso de uso y se muestra el diagrama de *workflow* correspondiente al mismo, para identificar las acciones que intervienen en ellos, como lo plantea la metodología UWE.

El caso de uso *Iniciar Sesión* comienza cuando el sistema muestra en la pantalla el formulario donde el usuario, ingresa sus credenciales como, por ejemplo, correo electrónico y contraseña, el sistema iniciará la sesión correspondiente, dando fin al caso de uso. Este caso se muestra en la Figura 3.5.

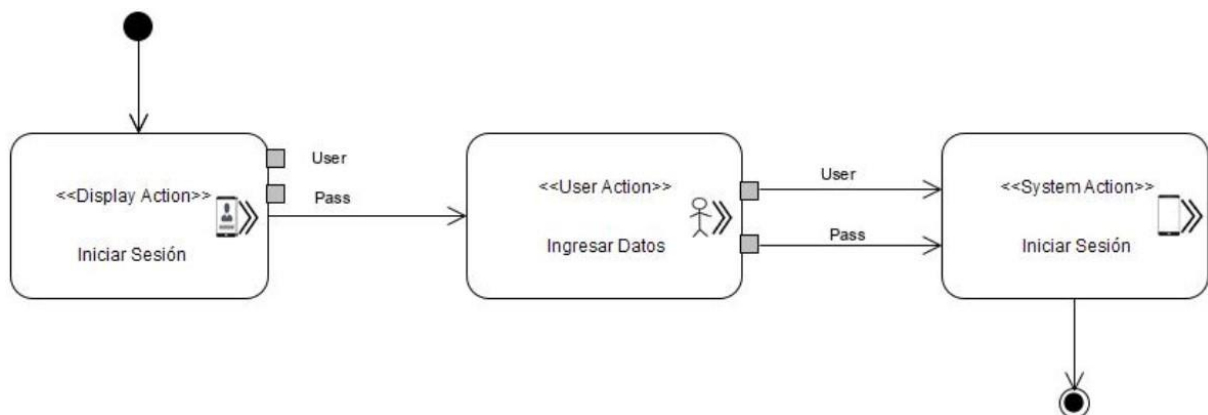


Figura 3.5 Diagrama de actividad del caso de uso *Iniciar Sesión*

El caso de uso *Cerrar Sesión* se muestra en la Figura 3.6, este inicia al mostrar el menú desplegable donde encuentra esta opción, la cual debe ser seleccionada por el usuario, provocando que el sistema cierre la sesión actual en la que se encuentra el usuario y finalizando el caso de uso.

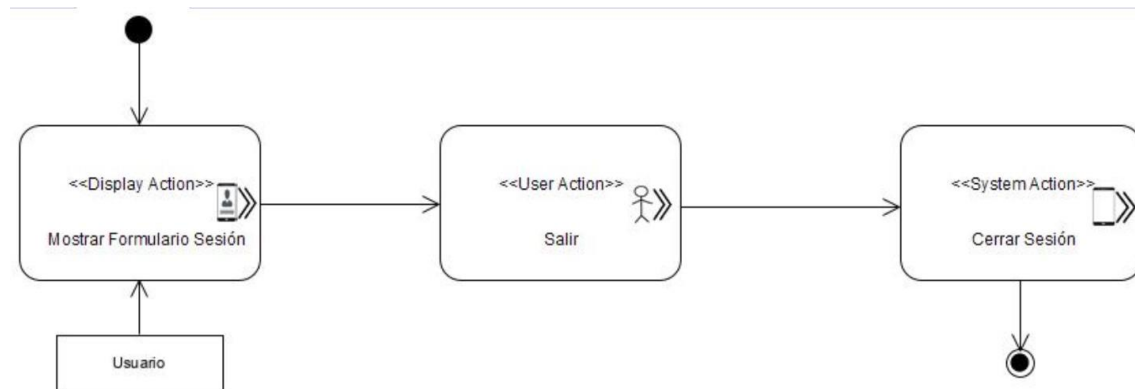


Figura 3.6 Diagrama de actividad del caso de uso *Cerrar Sesión*

En la Figura 3.7 se representa el caso de uso de *Registrarse* en el sistema, este inicia cuando se muestra en la pantalla el formulario donde el usuario ingresa los datos requeridos, como, por ejemplo, su nombre, correo electrónico, nombre de usuario y contraseña, al enviarse los mismos el sistema guarda el nuevo usuario, finalizando el caso de uso.

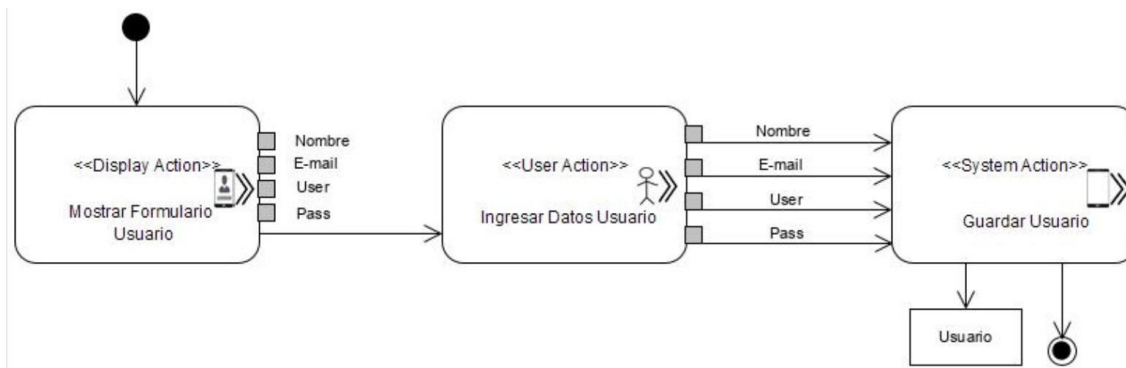


Figura 3.7 Diagrama de actividad del caso de uso *Registrarse*

El caso de uso de *Editar Perfil* se presenta en la Figura 3.8, este da inicio cuando se muestra la pantalla que contiene la información del usuario actual para que pueda realizar los cambios que se consideren necesarios, al terminar estos, el caso de uso finaliza actualizando la información modificada.

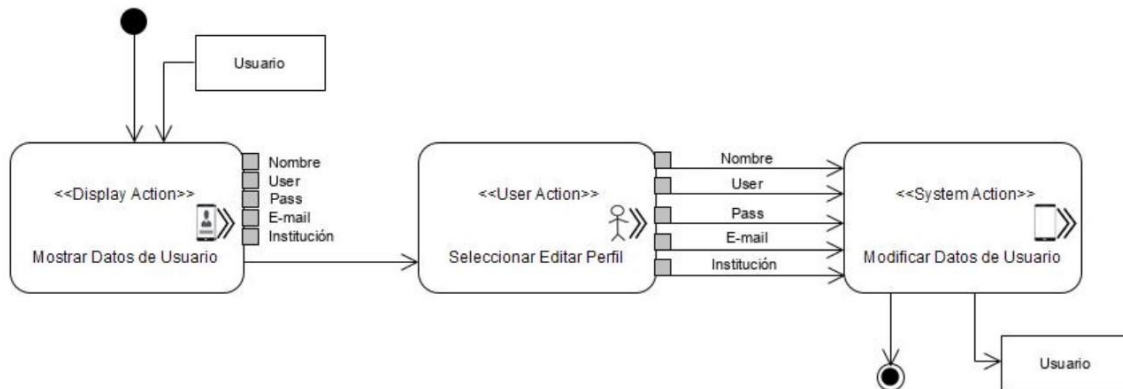


Figura 3.8 Diagrama de actividad del caso de uso *Editar Perfil*

El diagrama de actividad *Darse de baja* está presentado en la Figura 3.9 donde se muestran los datos del usuario actual, este debe indicar que realizará la baja de su información, el sistema procederá a realizar la acción indicada terminado el caso de uso.

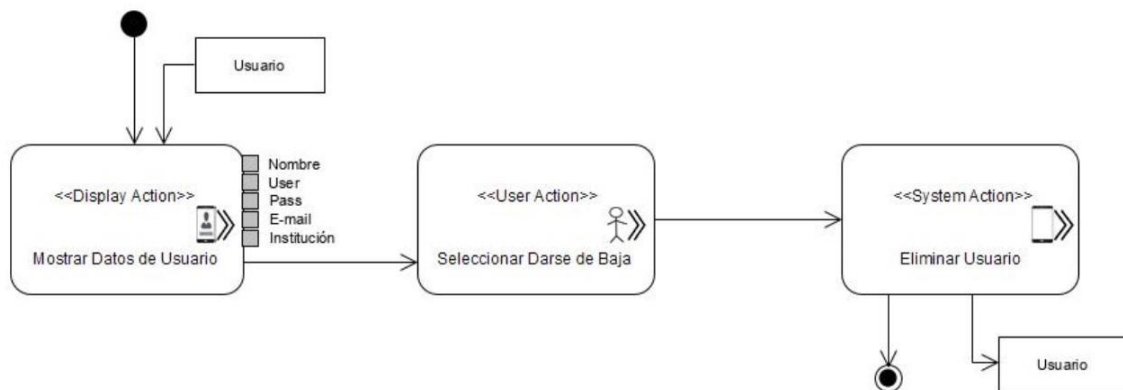


Figura 3.9 Diagrama de actividad del caso de uso *Darse de Baja*

El caso de uso *Recuperar Contraseña*, representado en el diagrama de actividad de la Figura 3.10, comienza al presentar al usuario la opción de restablecer la contraseña en la pantalla. Luego, el usuario elige esta opción y se despliega un formulario en el que debe ingresar la dirección de correo electrónico registrada en el sistema. Finalmente, el caso de uso concluye cuando el sistema envía la contraseña al correo electrónico proporcionado.

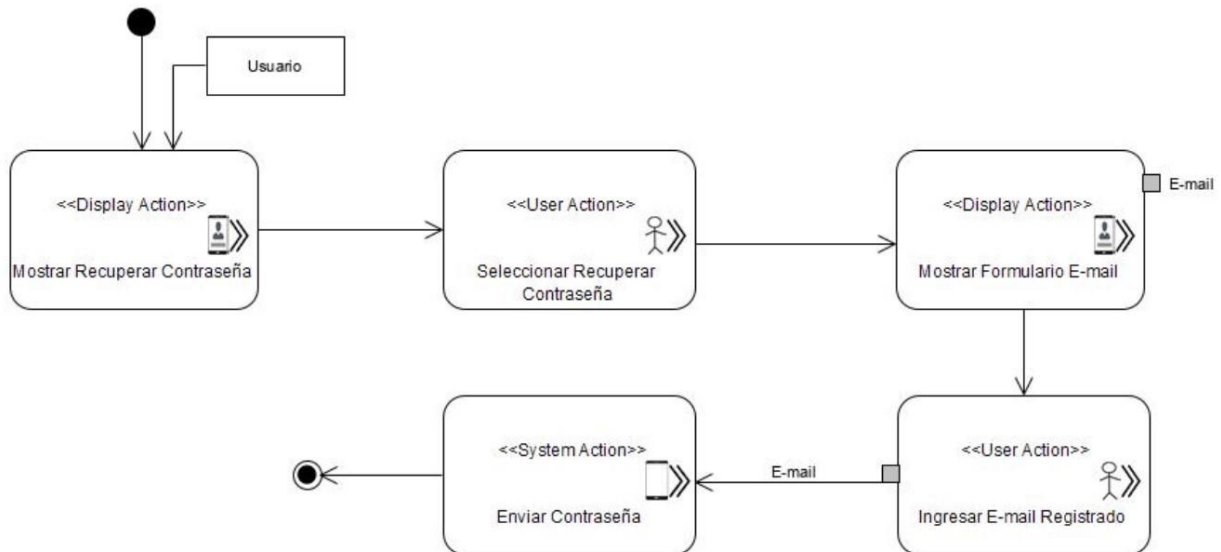


Figura 3.10 Diagrama de actividad del caso de uso *Recuperar Contraseña*

En la Figura 3.11, se muestra el diagrama de actividad del caso de uso *Crear Examen*. Este inicia presentando un formulario para que un usuario autorizado ingrese datos para la creación de un examen. El sistema guarda los datos y muestra un nuevo formulario para agregar preguntas, el número de estas se guardó con anterioridad. Cuando el usuario completa el registro de estas, el sistema guarda el examen y activa el caso de uso *Calibrar Ítems*, finalizando el proceso.

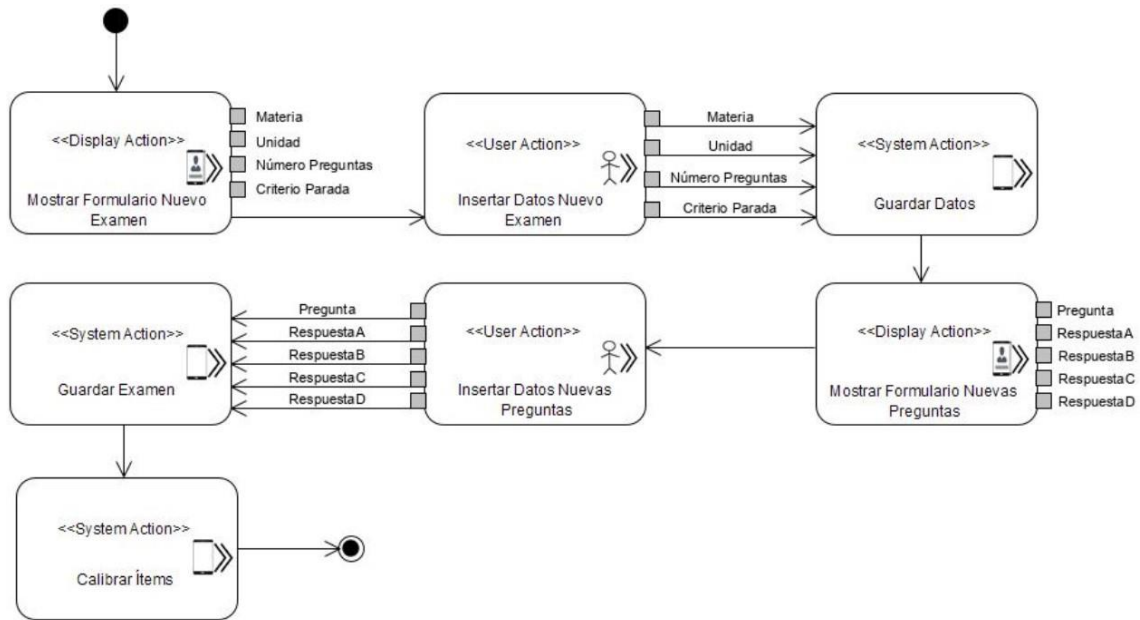


Figura 3.11 Diagrama de actividad del caso de uso *Crear Examen*

El caso de uso *Consultar Examen* se presenta en el diagrama de actividad de la Figura 3.12. Comienza mostrando una lista de exámenes disponibles y un formulario para que el usuario autorizado ingrese el identificador del examen deseado. Luego, el sistema muestra la información relevante y, de esta manera, se completa el caso.

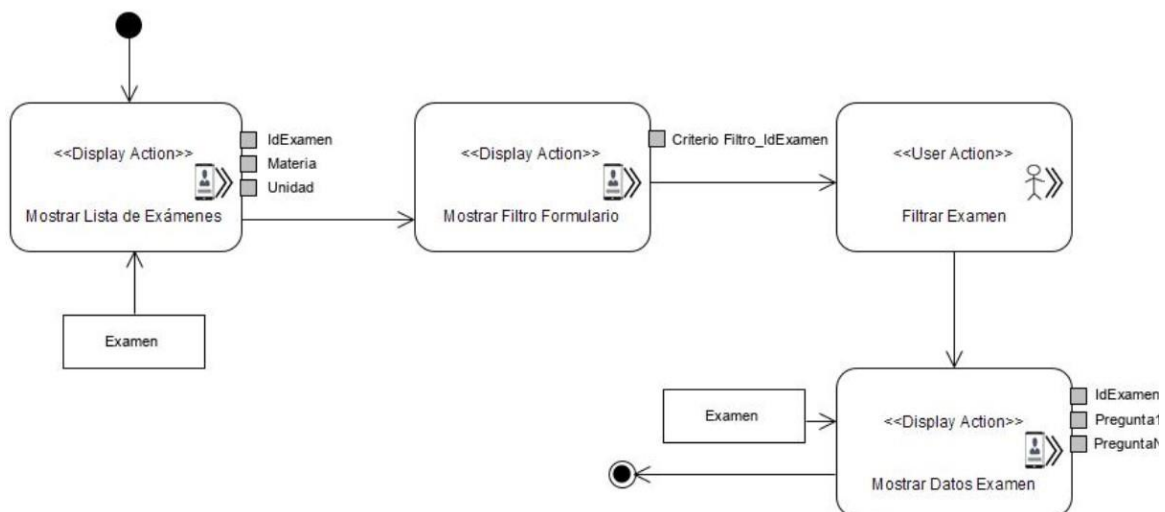


Figura 3.12 Diagrama de actividad del caso de uso *Consultar Examen*

En la Figura 3.13 se muestra el diagrama de actividad para el caso de uso *Modificar Examen*. Comienza con la visualización de una lista de exámenes disponibles y un formulario para que el usuario autorizado ingrese el identificador del examen deseado. Luego, el sistema muestra la información del examen seleccionado para realizar las modificaciones solicitadas. Una vez completadas las modificaciones, este finaliza con el registro de los cambios efectuados.

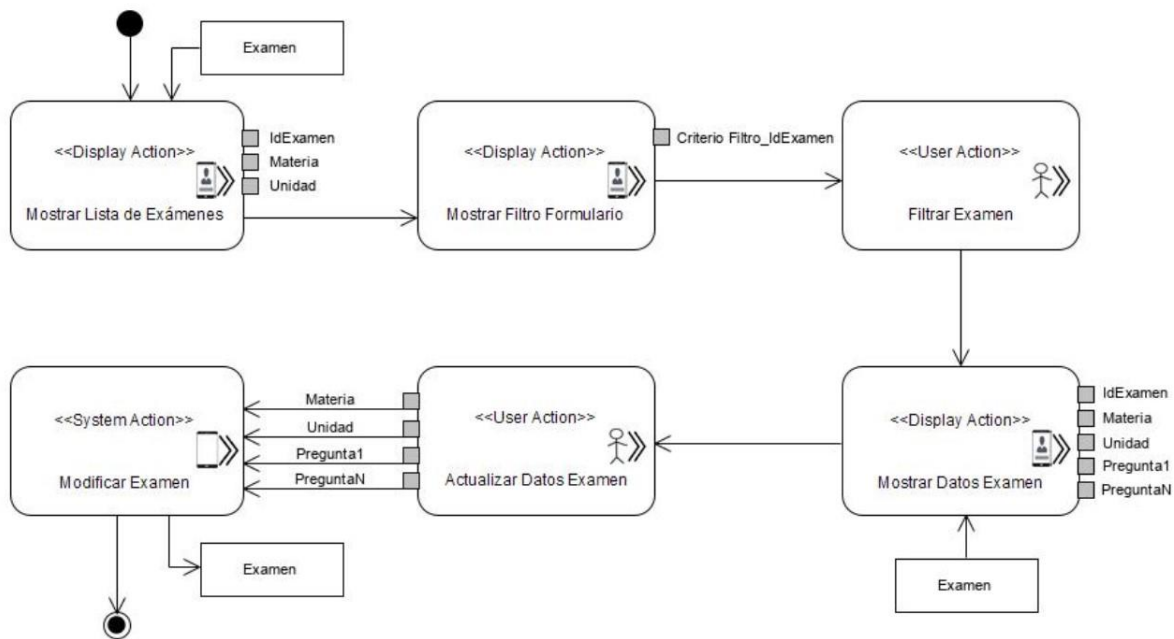


Figura 3.13 Diagrama de actividad para el caso de uso *Modificar Examen*

El caso de uso *Eliminar Examen* está ilustrado en el diagrama de actividad en la Figura 3.14. Inicia mostrando una lista de exámenes disponibles y un formulario para que el usuario autorizado ingrese el identificador del examen a eliminar. Luego, el sistema presenta los detalles del examen seleccionado y permite al usuario autorizado confirmar la eliminación, lo que termina el caso de uso.

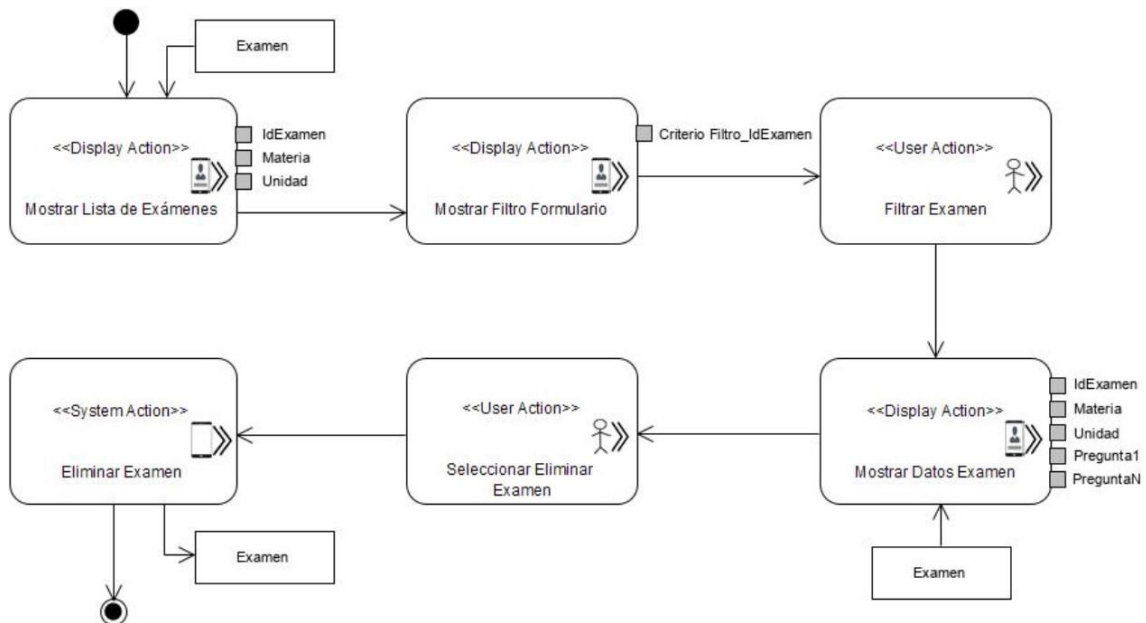


Figura 3. 14 Diagrama de actividad del caso de uso *Eliminar Examen*

En la Figura 3.15, se visualiza el diagrama de actividad del caso de uso *Consultar Calificaciones*. Inicia mostrando una lista de exámenes contestados disponibles y un formulario para ingresar el identificador del examen deseado. Luego, el sistema presenta las calificaciones correspondientes, dependiendo del tipo de usuario, y finaliza el caso.

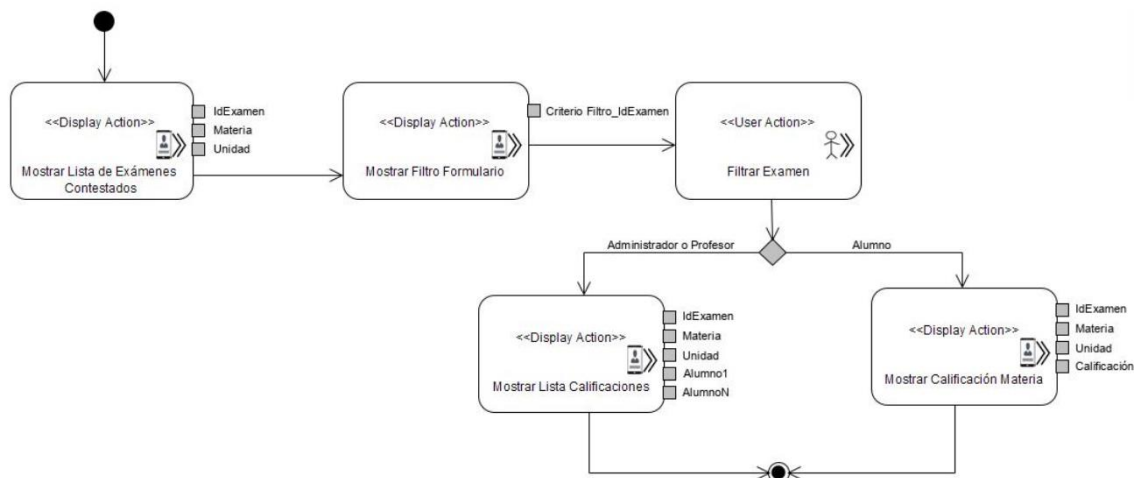


Figura 3. 15 Diagrama de actividad del caso de uso *Consultar Calificaciones*

A continuación, se presenta el diagrama de actividad del caso de uso *Modificar Calificación* en la Figura 3.16. Este da inicio cuando se muestra la pantalla del listado de todos los exámenes contestados y disponibles, además del formulario donde el usuario autenticado ingresa el identificador del examen al que desea modificar sus calificaciones, el sistema presenta la información del examen seleccionado donde se realizan los cambios necesarios, por último, el sistema guarda estos y finaliza el caso.

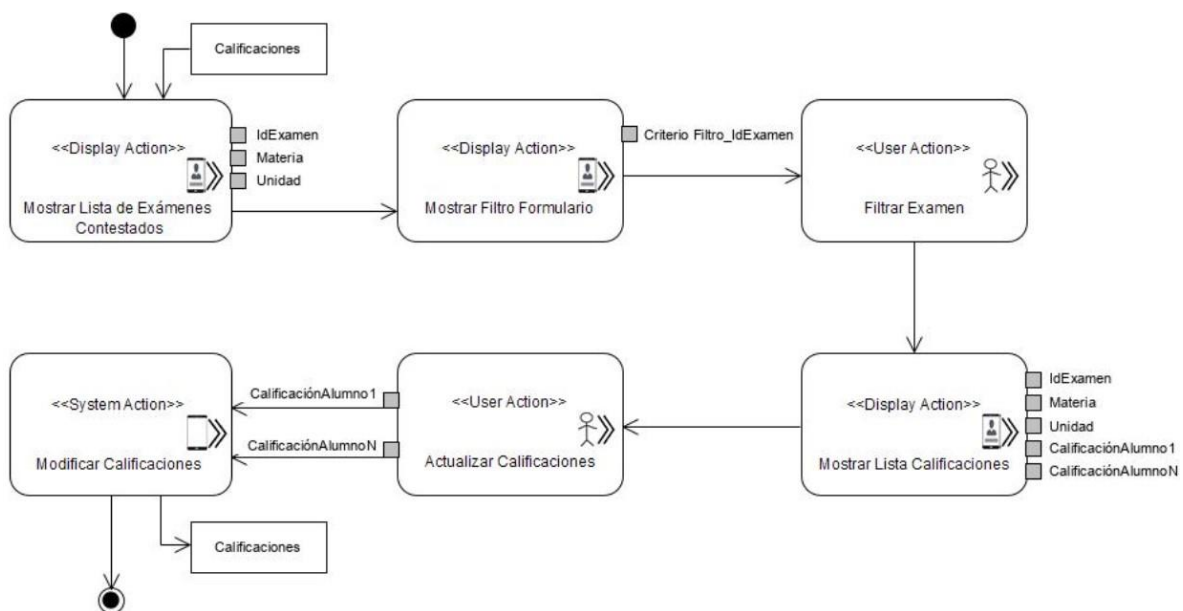


Figura 3. 16 Diagrama de actividad del caso de uso *Modificar Calificaciones*

El caso de uso *Eliminar Calificaciones* se muestra en el Diagrama de actividad de la Figura 3.17. Comienza presentando la lista de exámenes contestados disponibles y un formulario para que el usuario autorizado ingrese el identificador del examen cuyas calificaciones desea eliminar. Luego, el sistema exhibe los datos del examen seleccionado para que el usuario elimine las calificaciones deseadas. Una vez que el sistema completa la solicitud, el caso concluye.

La Figura 3.18 representa el diagrama de actividad del caso de uso *Registrar Curso*. Comienza mostrando un formulario en el que el usuario autorizado introduce los datos necesarios. Luego, el sistema guarda la información del nuevo curso y finaliza el caso.

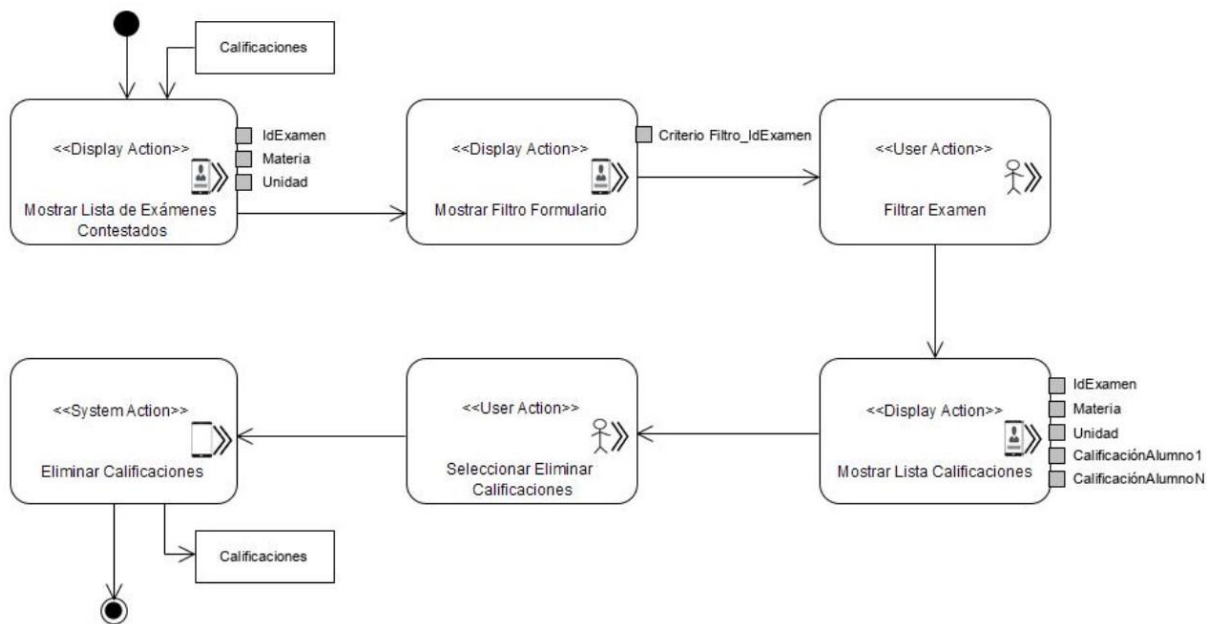


Figura 3. 17 Diagrama de actividad para el caso de uso *Eliminar Calificaciones*

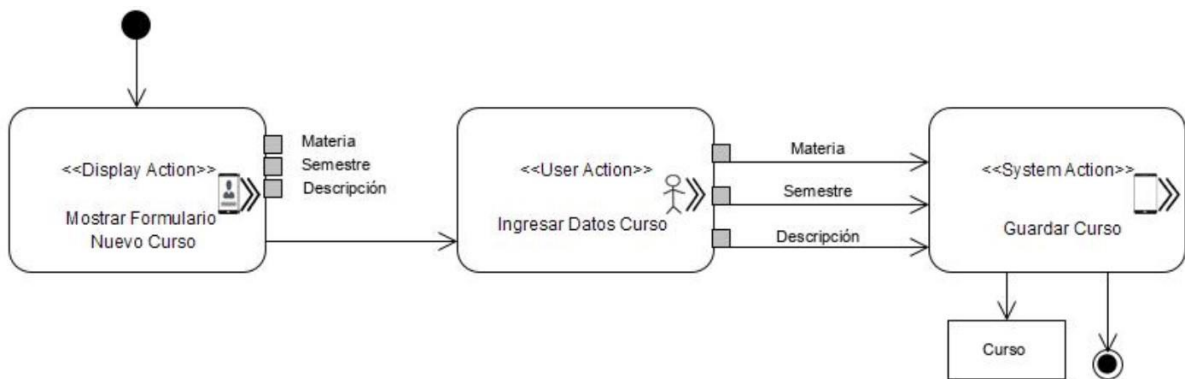


Figura 3. 18 Diagrama de actividad del caso de uso *Registrar Curso*

El caso de uso *Consultar Curso* se muestra en el diagrama de actividad de la Figura 3.19. Comienza mostrando la lista de los cursos registrados en el sistema y un formulario donde el usuario autorizado introduce el identificador del curso que desea consultar. Luego, el sistema presenta la información correspondiente y concluye el caso.

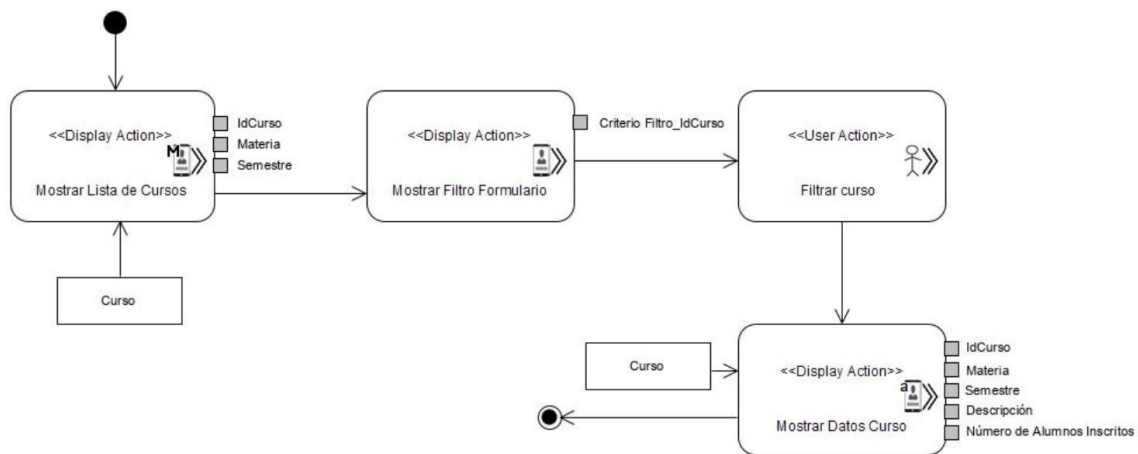


Figura 3. 19 Diagrama de actividad del caso de uso *Consultar Curso*

El caso de uso *Modificar Curso* se ve en la Figura 3.20. Comienza mostrando la lista de cursos y un formulario donde el usuario autorizado ingresa el identificador del curso a modificar. Luego, el sistema presenta la información para realizar los cambios deseados, y al finalizar, el caso concluye con los cambios registrados.

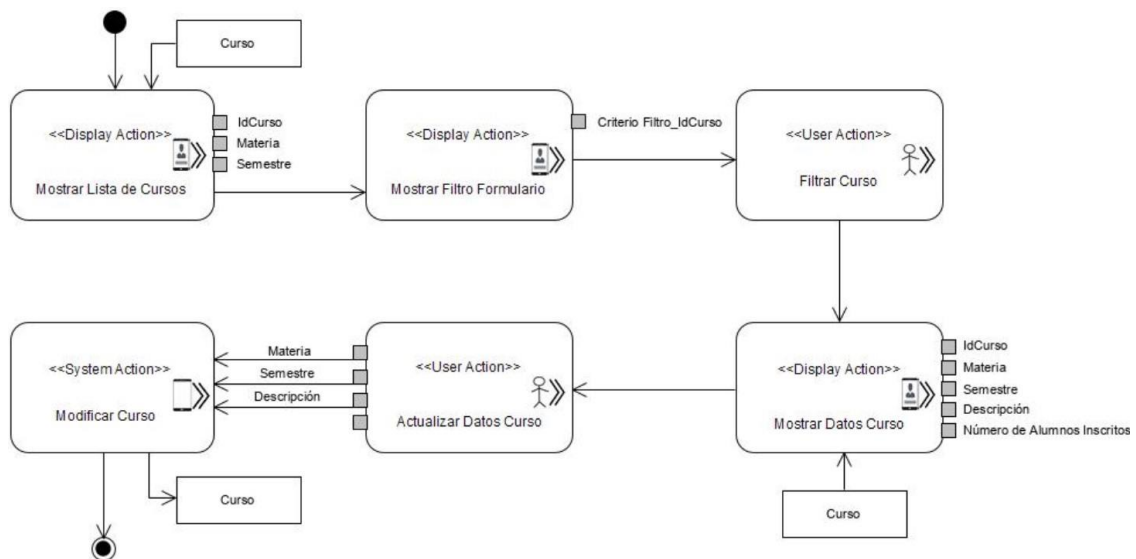


Figura 3. 20 Diagrama de actividad del caso de uso *Modificar Curso*

La Figura 3.21 presenta el diagrama de actividad del caso de uso de *Eliminar Curso*, este inicia exhibiendo el listado de los cursos disponibles en el sistema, donde también se encuentra un formulario en el cual el usuario con autorización ingresa el identificador del curso a eliminar, acto seguido el sistema muestra la información del curso buscado, el usuario indica que desea eliminarlo y el sistema realiza el proceso pedido y finaliza el caso de uso.

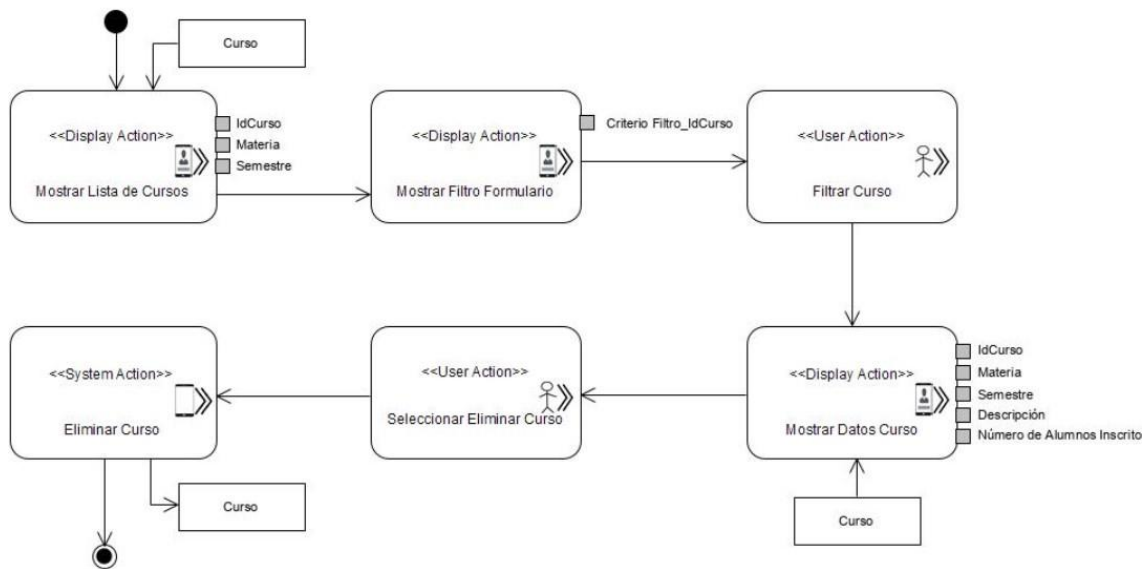


Figura 3. 21 Diagrama de actividad del caso de uso de *Eliminar Curso*

El caso de *Enviar Solicitud* se encuentra en el diagrama de actividad de la Figura 3.22. Este da inicio enlistando los cursos disponibles para el usuario, después de esto el mismo debe indicar a cuál de ellos se desea inscribir, y el sistema envía la solicitud de inscripción dando fin al caso de uso.

En la Figura 3.23 se encuentra el diagrama de actividad del caso de uso de *Responder Solicitud*, se aprecia que este inicia con el sistema presentando una notificación de una nueva solicitud recibida al usuario autorizado, luego de esto, el usuario debe indicar que se presente el listado de solicitudes, con este extendido el usuario debe responder a la solicitud, el sistema procede a agregar al alumno al curso o rechazando la solicitud según se indique.

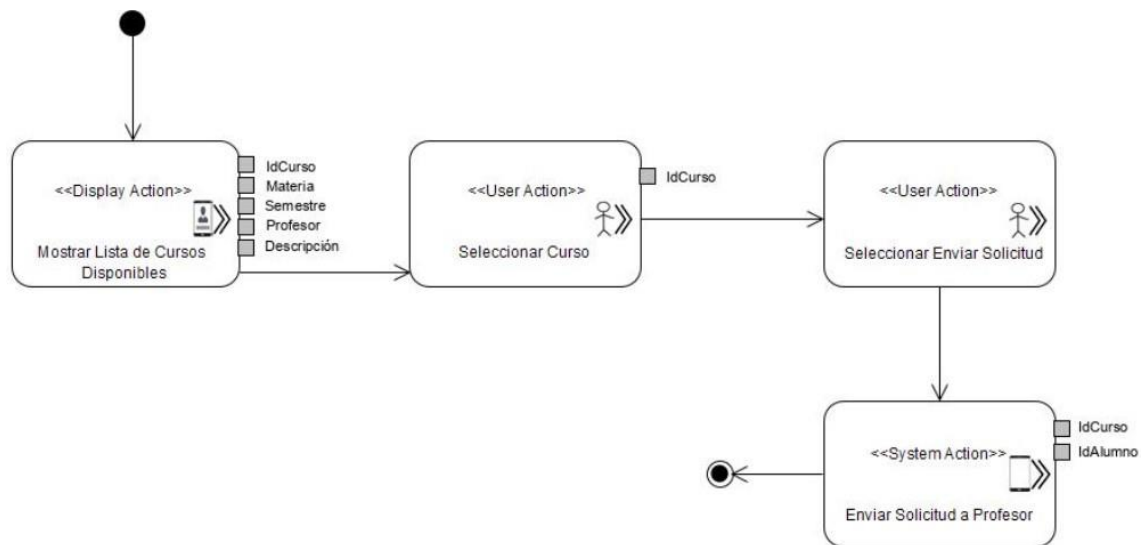


Figura 3. 22 Diagrama de actividad para el caso de uso *Enviar Solicitud*

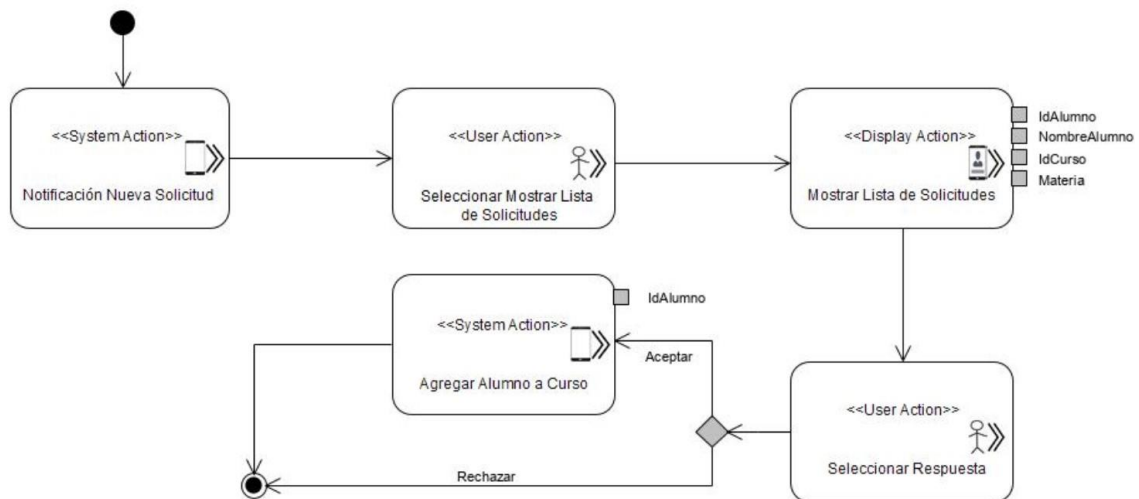


Figura 3. 23 Diagrama de actividad del caso de uso *Responder Solicitud*

El caso de uso *Cancelar Solicitud* se exhibe en el diagrama de actividad de la Figura 3.24. El caso da inicio presentando el listado de todas las solicitudes realizadas por el usuario autorizado, después de esto, deberá elegir un curso y seleccionar la opción de cancelar la solicitud, el sistema realiza la acción solicitada, y finaliza el caso de uso.

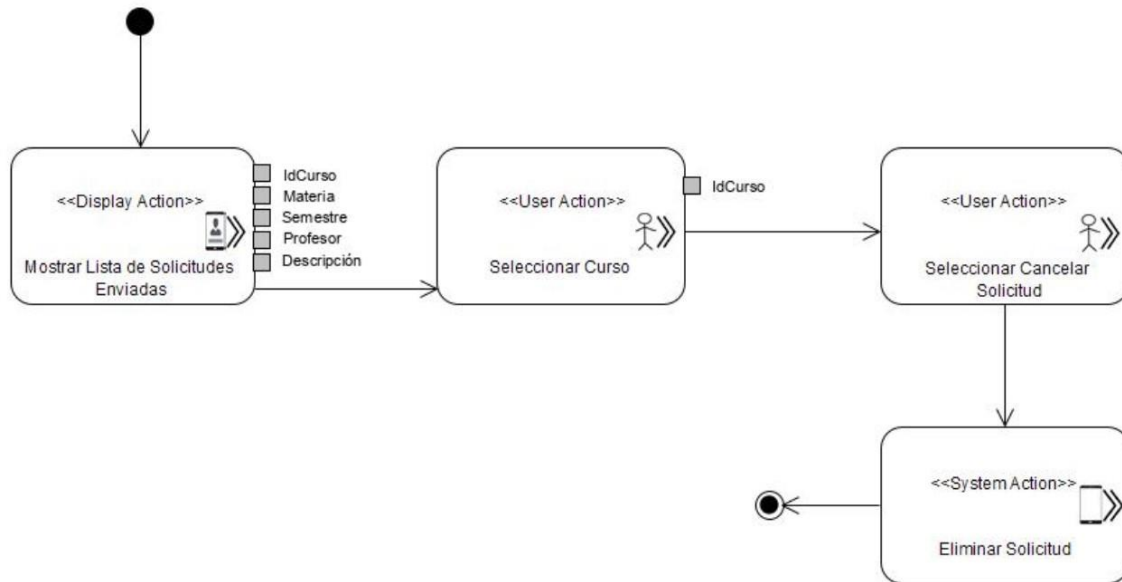


Figura 3. 24 Diagrama de actividad del caso de uso *Cancelar Solicitud*

El caso de uso *Responder Examen* se muestra en el diagrama de actividad de la Figura 3.25. Da inicio presentando el formulario mediante el cual se obtendrán las respuestas dadas por el usuario a cada pregunta del examen, luego el sistema guardará la información de estas y confirma si se alcanzó el criterio de parada, en caso de no ser así, el sistema verifica si la respuesta a la pregunta anterior fue correcta o incorrecta, en el primer caso el sistema selecciona una pregunta con mayor dificultad, en caso negativo, una con menor dificultad, la pregunta encontrada se presenta al usuario, repitiendo el proceso de forma cíclica hasta cumplir con el criterio de parada, al llegar a esta parte, se muestra al usuario la calificación que obtuvo y finaliza el caso de uso.

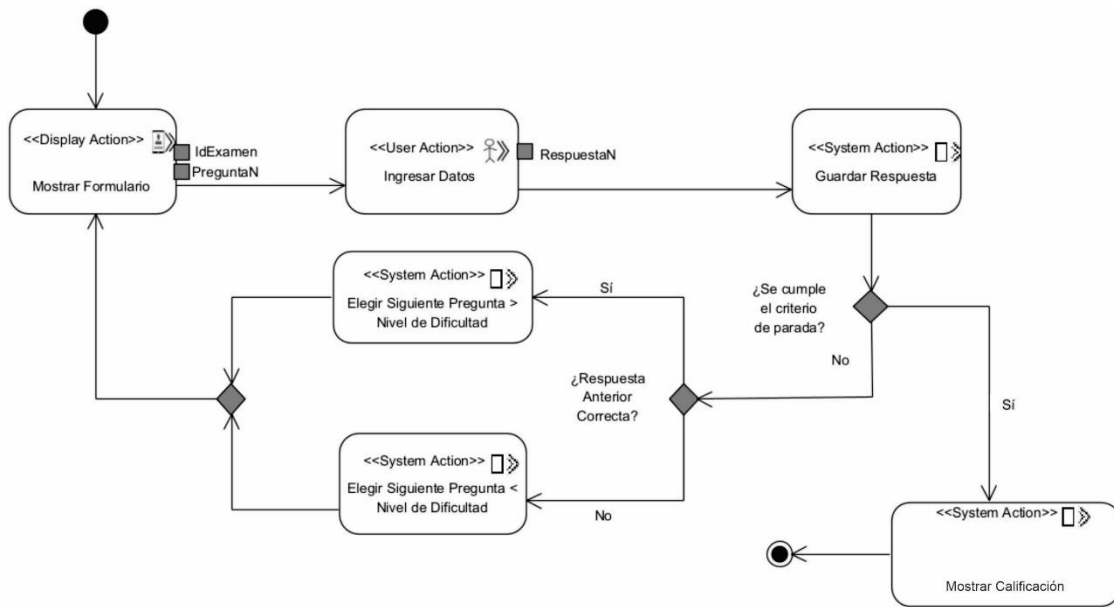


Figura 3. 25 Diagrama de actividad para el caso de uso *Responder Examen*

En la Figura 3.26 se encuentra el diagrama de actividad que representa el caso de uso de *Calibrar Ítems*, este inicia con el sistema realizando el envío de un conjunto de datos que contiene la información de exámenes respondidos, para realizar el proceso de calibración, después el sistema guardará los ítems calibrados terminado el caso de uso.

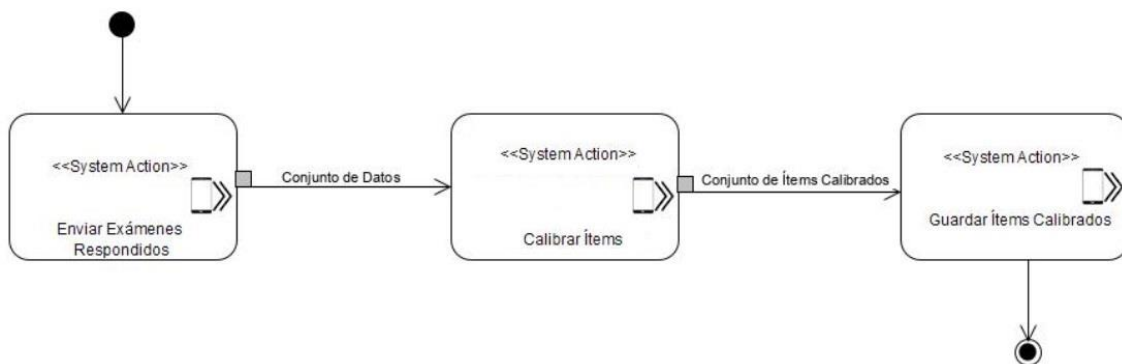


Figura 3. 26 Diagrama de actividad del caso de uso *Calibrar Ítems*

El último caso de uso *Crear Reglas de Asociación Secuenciales* está exhibido en el diagrama de actividad de la Figura 3.27. Este comienza con la generación de un conjunto de datos que contiene las respuestas a exámenes aplicados anteriormente, el sistema aplica el algoritmo TopSeqRules de SPMF que genera las reglas, para que el sistema las guarde, dando fin al caso de uso.

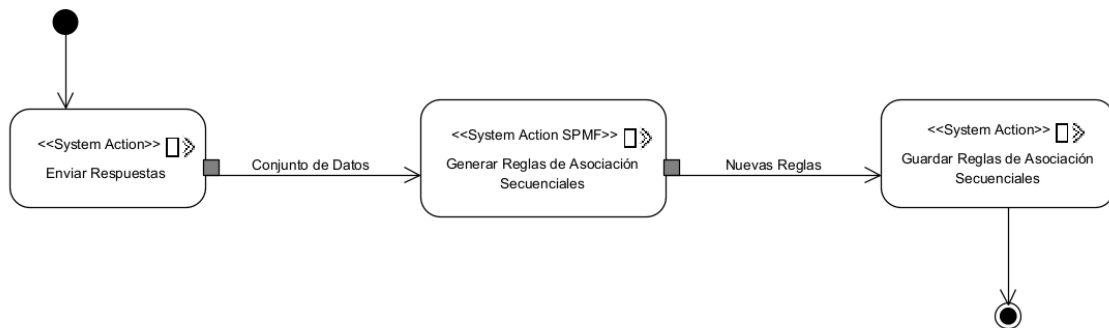


Figura 3. 27 Diagrama de actividad del caso de uso *Crear Reglas de Asociación Secuenciales*

3.3.2 Modelo conceptual

A partir de los requisitos obtenidos anteriormente, se procedió a llevar a cabo el diseño de la base de datos del sistema. Este diseño incluye la representación de los diagramas conceptual, lógico y físico de la base de datos, los cuales se observan detalladamente en las Figuras 3.28, 3.29 y 3.30. Estos diagramas son fundamentales para la estructura y funcionamiento del sistema.

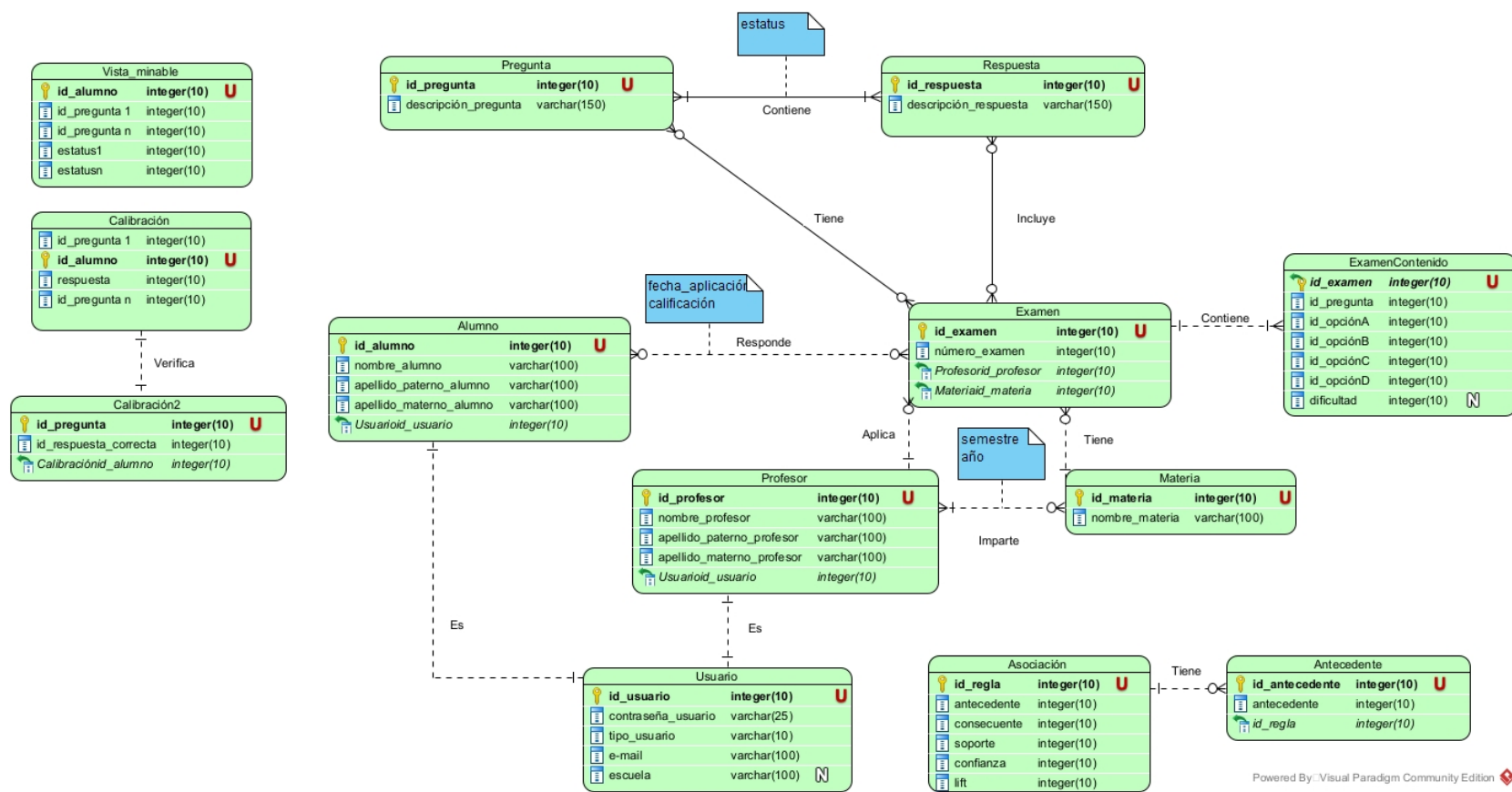


Figura 3. 29 Modelo Lógico de la base de datos

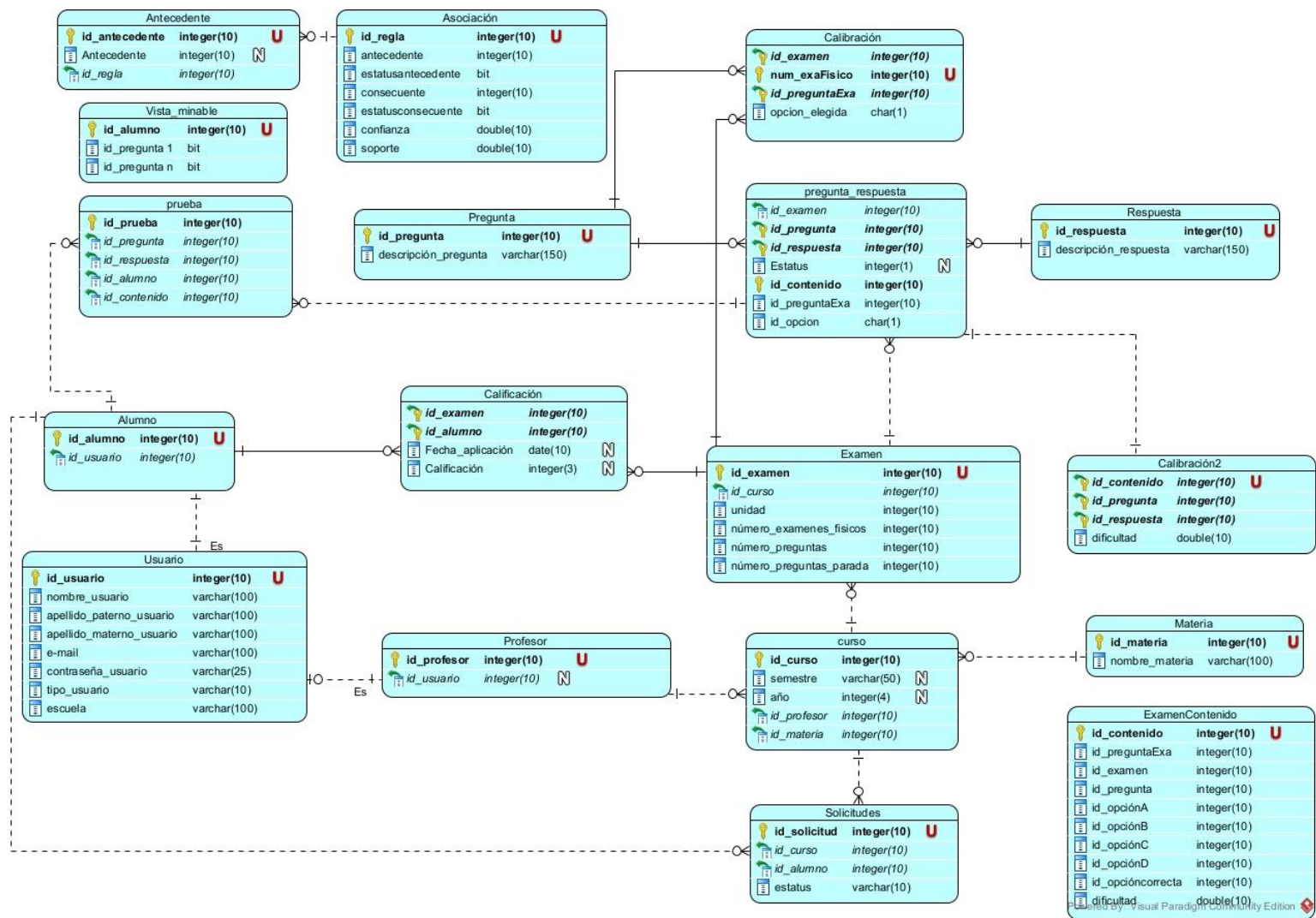


Figura 3. 30 Modelo Físico de la base de datos

Tablas de la base datos

Pregunta: Esta tabla guarda las preguntas que conforman los exámenes registrados.

Respuesta: Esta tabla registra las respuestas para cada una de las preguntas de los exámenes registrados.

Pregunta_Respuesta: La tabla establece la conexión entre las preguntas y sus respuestas mediante las claves foráneas *id_pregunta* e *id_respuesta*, las cuales son claves primarias en las tablas de **Pregunta** y **Respuesta**, respectivamente. Cada pregunta está asociada con cuatro opciones de respuesta, incluyendo tres opciones incorrectas y una opción correcta. La información sobre el estatus de la respuesta igualmente se guarda en esta tabla.

Usuario: En esta se guarda la información de cada usuario como, su tipo, *password*, correo electrónico y escuela para todos los usuarios.

Alumno: Esta tabla almacena la información de los usuarios de tipo alumno: su nombre, apellido paterno, apellido materno. Su clave primaria es *id_alumno*.

Profesor: Esta tabla almacena la información de los usuarios de tipo profesor: su nombre, apellido paterno, apellido materno. Su clave primaria es *id_profesor*.

Calificación: La tabla establece vínculo con la tabla **Prueba**, en ella se almacenan las calificaciones obtenidas por los alumnos en un examen, además de esto registra la fecha de aplicación de este.

Examen: Esta tabla tiene establecida una relación con la tabla **Curso**, y permite el registro de exámenes en un solo curso, estos se identificarán por la clave primaria *id_examen* y se diferenciarán por el campo *numero_examen*.

Examen Contenido: Incluye los identificadores de todas las consultas que componen un examen, así como los identificadores de cada una de las alternativas de respuesta. Luego del proceso de calibración, también almacena los niveles de dificultad de cada una de las preguntas.

Curso: Según las relaciones definidas con las tablas **Materia** y **Profesor**, posibilita la identificación de la materia a la que está asociado el curso, junto con el profesor que lo enseña. También incluye la información del semestre y el año al que está asignado el curso.

Solicitudes: Esta tabla posibilita la gestión de las solicitudes de un curso. Por medio del campo *estatus*, una solicitud es capaz de tomar el estado de enviada, aceptada o rechazada.

Materia: La tabla almacena los registros de información de materias dadas de alta por los usuarios con tipo profesor.

Prueba: La tabla almacena todos los datos generados cuando un alumno realiza un examen. Incluye las claves foráneas *id_examen*, que proporcionan detalles sobre el examen realizado; *id_alumno*, para identificar al estudiante que completó el examen; además de *id_pregunta* e *id_respuesta*, que indican las opciones seleccionadas por el estudiante para cada pregunta.

Vista minable: Almacena el estatus de cada pregunta respondida en un examen realizado por un alumno.

Asociación: Esta tabla contiene la información de las reglas de asociación y reglas de asociación secuenciales encontradas por las herramientas WEKA y SPMF, incluye el identificador *id_regla*, *antecedente*, *estatusantecedente*, *consecuente*, *estatusconsecuente*, *confianza* y *soporte*.

Antecedente: Esta tabla establece una relación con la tabla **Asociación**, contiene la información de los antecedentes de reglas de asociación secuenciales *id_antecedente*, *antecedente* e *id_regla*.

3.3.3 Modelo de navegación

Este enfoque propone la creación de un mapa de navegación a través de un diagrama de clases con estereotipos, que abarca todas las rutas posibles para la interacción de los usuarios. El modelo de navegación de la aplicación se muestra en la Figura 3.31. El mapa de navegación ilustra las rutas disponibles que explican cómo un usuario se desplaza de una ubicación a otra dentro de la aplicación. Comenzando desde la página de inicio, en el Menú Principal, un usuario es capaz de realizar acciones como registrarse en el sistema, iniciar sesión o recuperar contraseña.

Menú cursos: Si el usuario autenticado es de tipo Profesor cuenta con la capacidad de registrar, modificar, eliminar y consultar la información sobre algún curso, además también responder la solicitud que fue enviada por un usuario de tipo Alumno. En caso de que el usuario sea de este último tipo, tiene la capacidad de consultar la información de un curso y enviar una solicitud para inscribirse al mismo. En la Figura 3.32 se presenta el modelo de navegación del menú de cursos.

Menú usuarios: Los usuarios de ambos tipos, Profesor y Alumno, están autorizados para modificar, consultar y eliminar su información de usuario. Este menú está representado en el modelo de navegación de la Figura 3.33

Menú calificaciones: Cuando el usuario autenticado es de tipo Profesor, tiene la opción de realizar la consulta, modificación y eliminación de calificaciones. Si el usuario es de tipo Alumno, únicamente cuenta con el permiso para consultar calificaciones. La Figura 3.34 muestra el modelo de navegación *Menú de Calificaciones*.

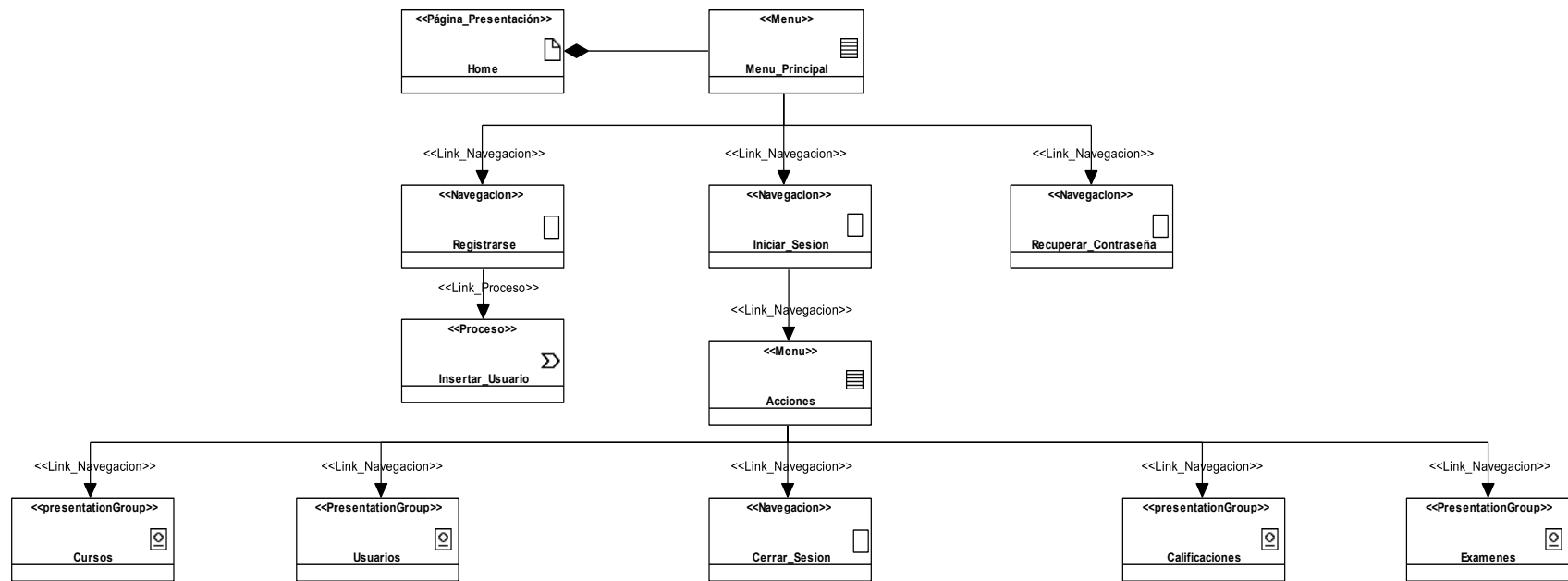


Figura 3. 31 Modelo de Navegación *Menú Principal*

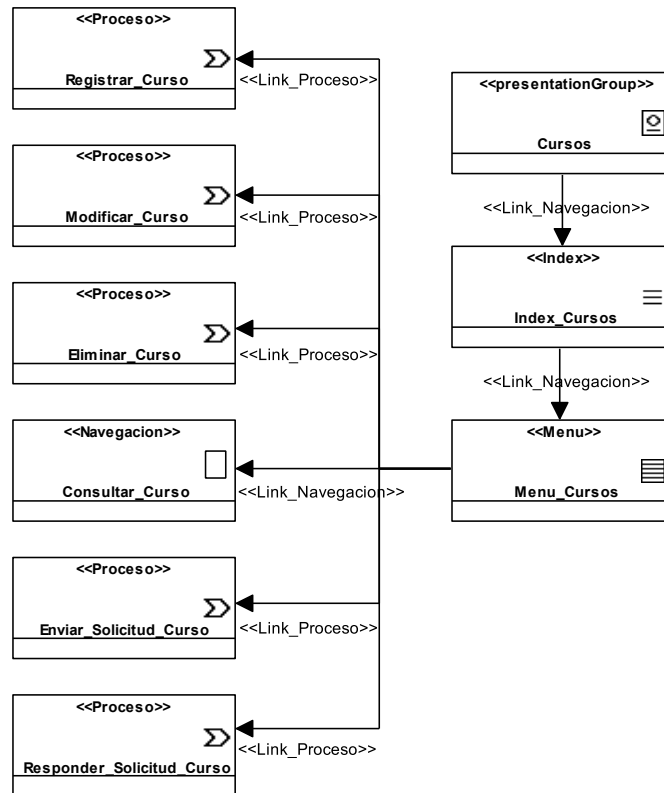


Figura 3. 32 Modelo de Navegación *Menú cursos*

Menú exámenes: Si el usuario es de tipo Profesor, es capaz de crear, modificar, consultar y eliminar la información de exámenes. Si el usuario es de tipo Alumno, solo se le permite iniciar el proceso para responder un examen. Este menú se presenta en el modelo de navegación de la Figura 3.35. Cabe resaltar que cuando el usuario de tipo Profesor registra un nuevo examen, el sistema realiza de forma automática el proceso de calibración de ítems. Igualmente, cuando un usuario de tipo Alumno contesta un examen, se ejecuta de forma automática el proceso de generar reglas. Por último, en la Figura 3.36 se presenta el modelo de navegación general.

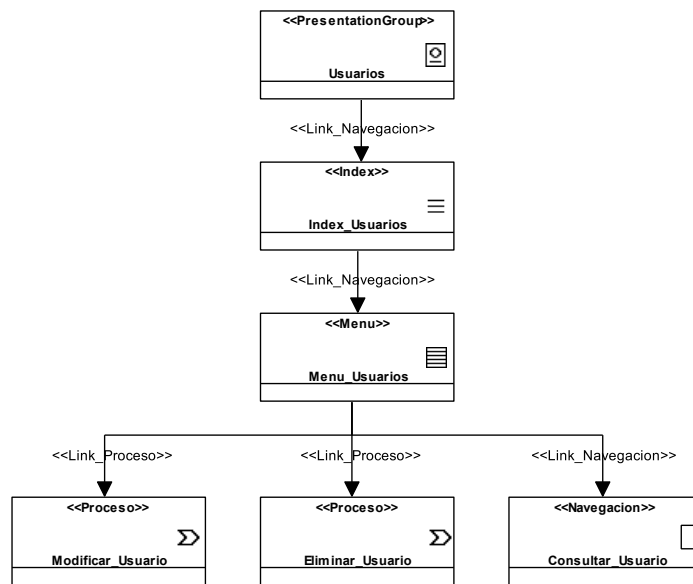


Figura 3. 33 Modelo de Navegación *Menú usuarios*

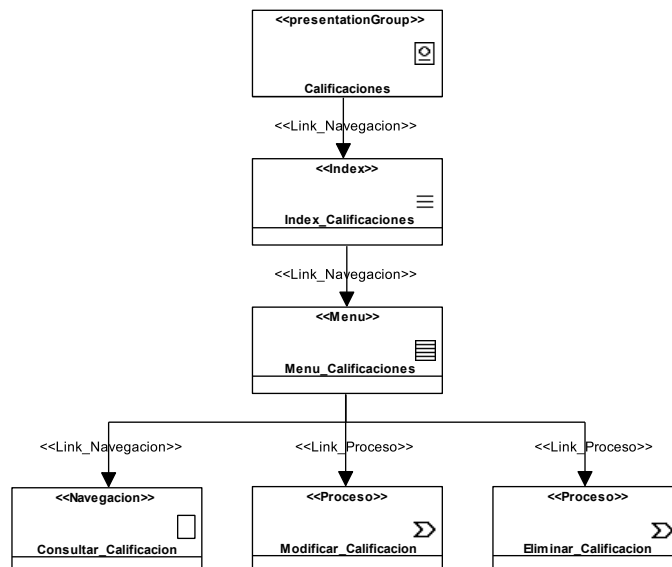


Figura 3. 34 Modelo de Navegación *Menú Calificaciones*

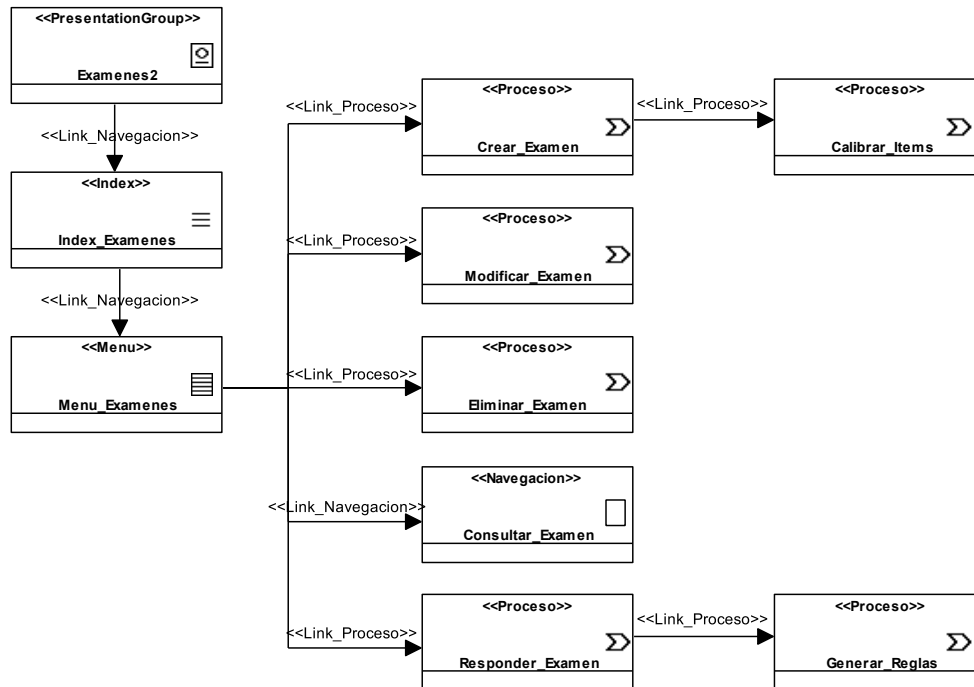


Figura 3. 35 Modelo de Navegación *Menú exámenes*

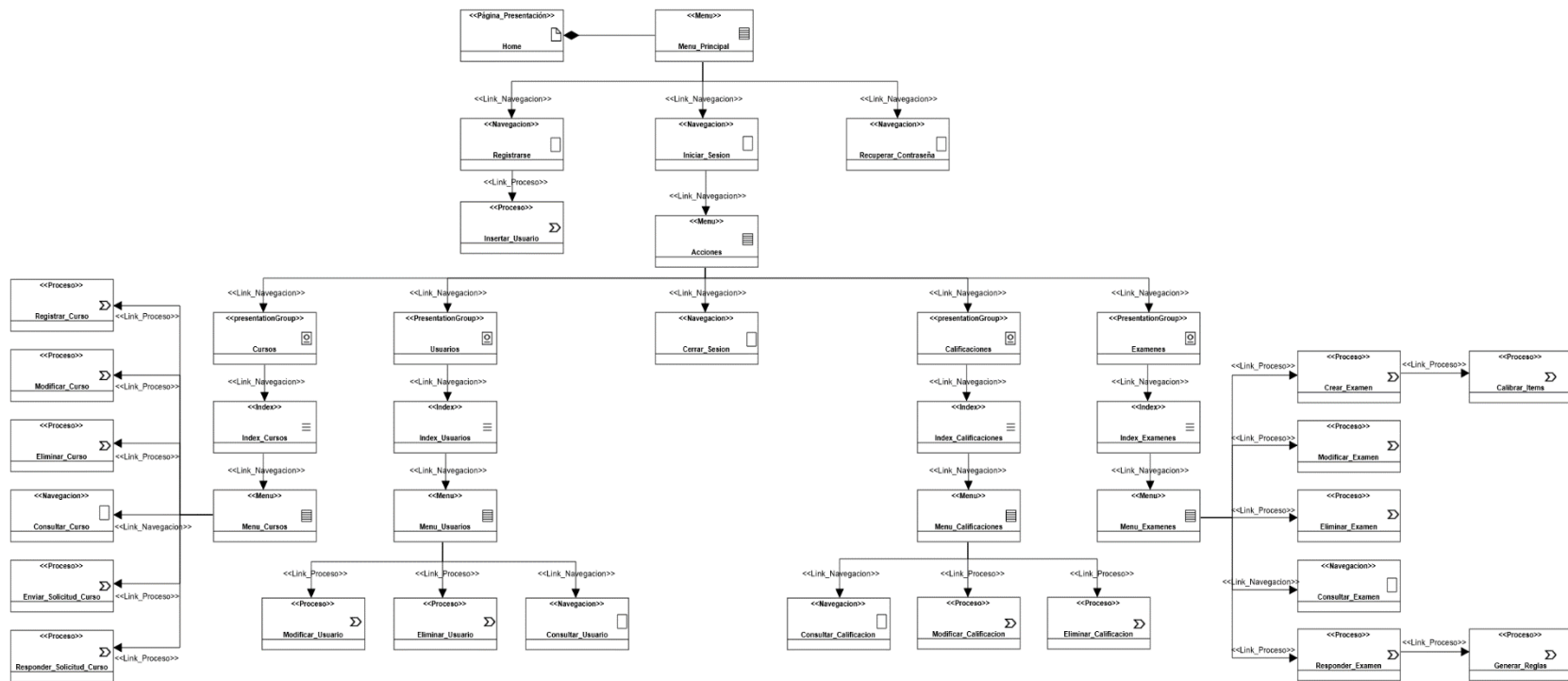


Figura 3. 36 Modelo de Navegación General

3.3.4 Modelo de presentación

El modelo de presentación describe las páginas de la aplicación, su estructura y los elementos que las componen.

La *Página inicio* se presenta en la Figura 3.37, en la cual se muestra a todos los usuarios al acceder a la aplicación. Esta página incluye el logotipo de la aplicación y tres opciones: registrarse en el sistema, iniciar sesión y recuperar contraseña.

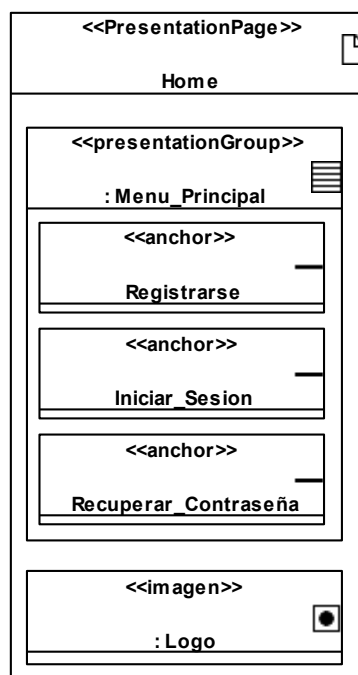


Figura 3. 37 Modelo de presentación *Página inicio*

En la Figura 3.54 se visualiza el *Menú Acciones*, este se activa una vez que el usuario inicia sesión con éxito en el sistema. Este menú presenta cinco opciones disponibles para interactuar con la aplicación.

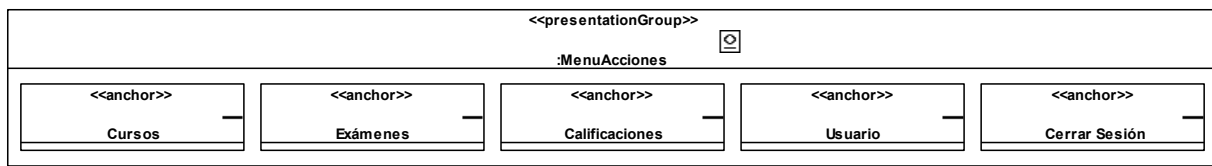


Figura 3. 38 Modelo de presentación *Menú Acciones*

A continuación, se muestra la *Página Usuario*, representada en la Figura 3.39 que exhibe el ID del usuario que inició sesión y la opción de consultar su información. Desde aquí, el usuario tiene la opción de administrar los datos registrados, con la posibilidad de actualizar la información o darse de baja del sistema. Además, la página incluye una sección llamada *Mensajes*, que proporcionará mensajes de confirmación o de error según corresponda.

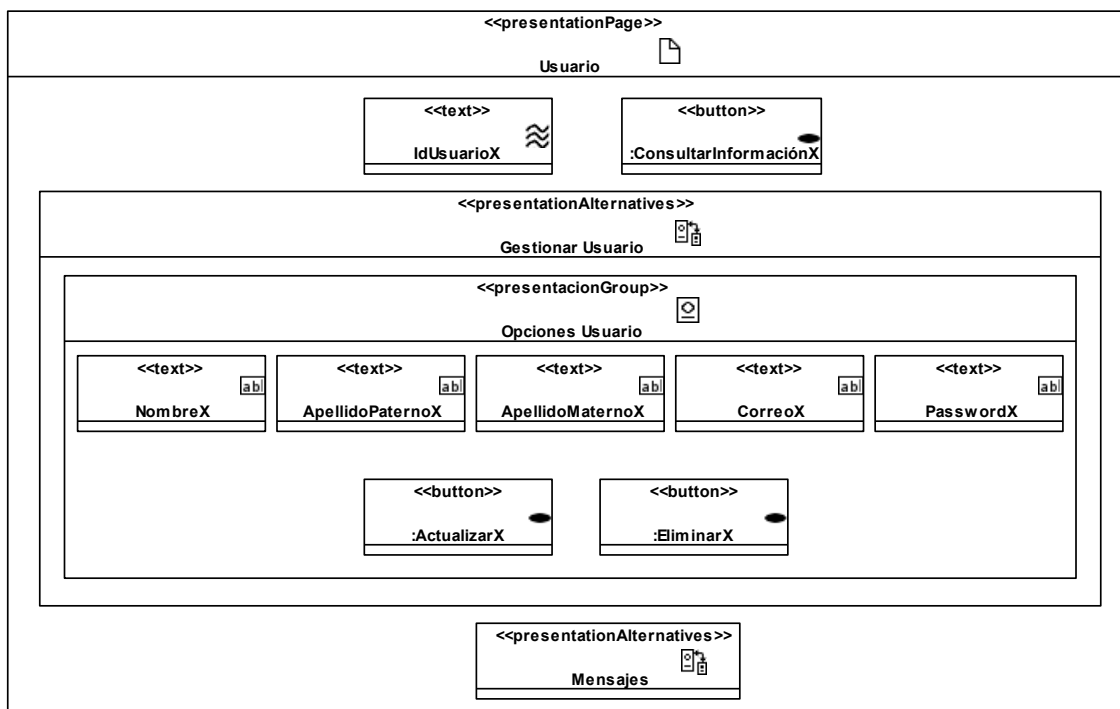


Figura 3. 39 Modelo de presentación *Página Usuario*

En la Figura 3.40 se muestra el área alternativa *Registrarse*, esta se habilita cuando un usuario realiza la opción de registrarse en el sistema. Dicha área muestra los campos con información que se deben llenar y el botón de *Aceptar*.

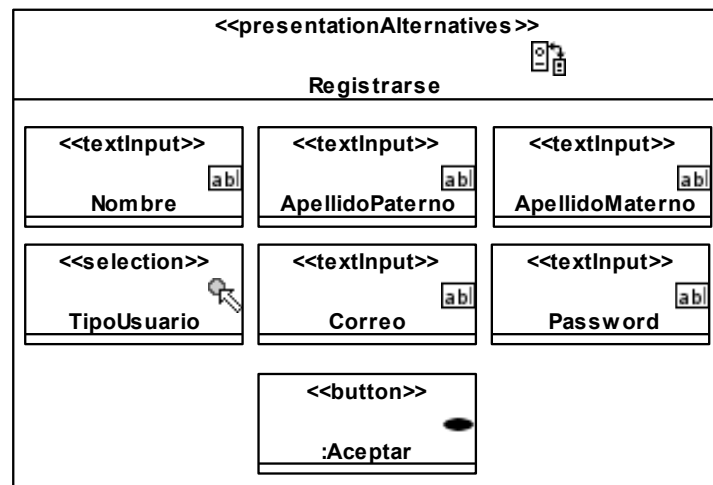


Figura 3. 40 Modelo de presentación área alternativa *Registrarse*

El área adicional *Iniciar Sesión* aparece cuando un usuario registrado desea ingresar al sistema. Contiene los campos *Usuario* (correo electrónico registrado) y *Contraseña*, junto con los botones *Iniciar Sesión* y *Cancelar*, tal como se ilustra en la Figura 3.41.

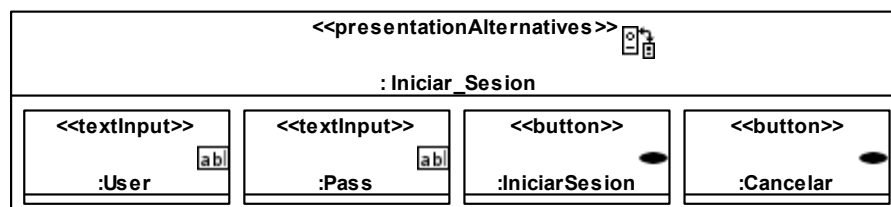


Figura 3. 41 Modelo de presentación área alternativa Iniciar Sesión

Por otro lado, en la Figura 3.42 está presentada el área alternativa *Recuperar Contraseña*, esta se muestra cuando alguno de los usuarios registrados, desea realiza el proceso del mismo nombre, esta incluye un campo de texto donde se debe ingresar el correo electrónico y un botón de enviado.

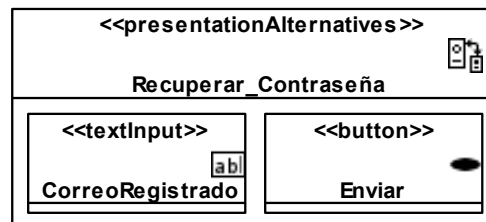


Figura 3. 42 Modelo de presentación área alternativa *Recuperar Contraseña*

También se tiene representada la *Página Cursos* en la Figura 3.43, donde se muestra una serie de opciones disponibles para el usuario en el sistema dependiendo a qué tipo pertenece el mismo.

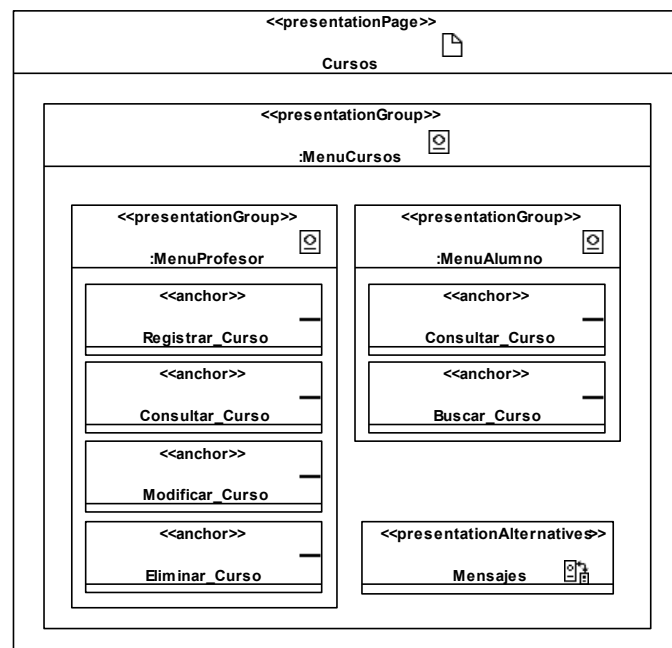


Figura 3. 43 Modelo de presentación *Página Cursos*

En la Figura 3.44 se representa el área alternativa *Gestionar Cursos*, como se muestra cuenta con una tabla que enlista los cursos disponibles. Las opciones se habilitan en función del tipo de usuario autenticado: si el usuario es un Profesor, es capaz de consultar, modificar o eliminar cursos que haya registrado, agregar un nuevo curso y ver la lista de solicitudes enviadas por los alumnos. Si el usuario es un Alumno, tiene la opción enviar una solicitud para un curso o cancelar una solicitud existente. Además, se incluye una opción de filtrar o buscar cursos por nombre de materia o ID. En esta sección, también se encuentra la alternativa *Mensajes*, que proporcionará mensajes de error o confirmación, dependiendo de la situación.

A continuación, se visualiza el modelo de presentación del área alternativa de *Registrar Curso* en la Figura 3.45, donde se muestran los campos necesarios para el registro de un nuevo curso, cabe resaltar que solo los usuarios de tipo Profesor son capaces de realizar esta acción.

En la Figura 3.46 se exhibe en el modelo de presentación el área alternativa de *Consultar Curso*, esta permite al usuario de tipo Profesor consultar la información de un curso.

El modelo de presentación con el área alternativa *Modificar Curso* permite a los usuarios de tipo Profesor actualizar los datos de algún curso seleccionado. También incluye el área alternativa de *Mensajes* que mostrará mensajes de error o de confirmación. Está presentada en la Figura 3.47.

La Figura 3.48 presenta el modelo de presentación con el área alternativa *Responder Solicitudes*, donde un usuario Profesor tiene la capacidad de aceptar o rechazar las solicitudes que envíen los alumnos para unirse a un curso.

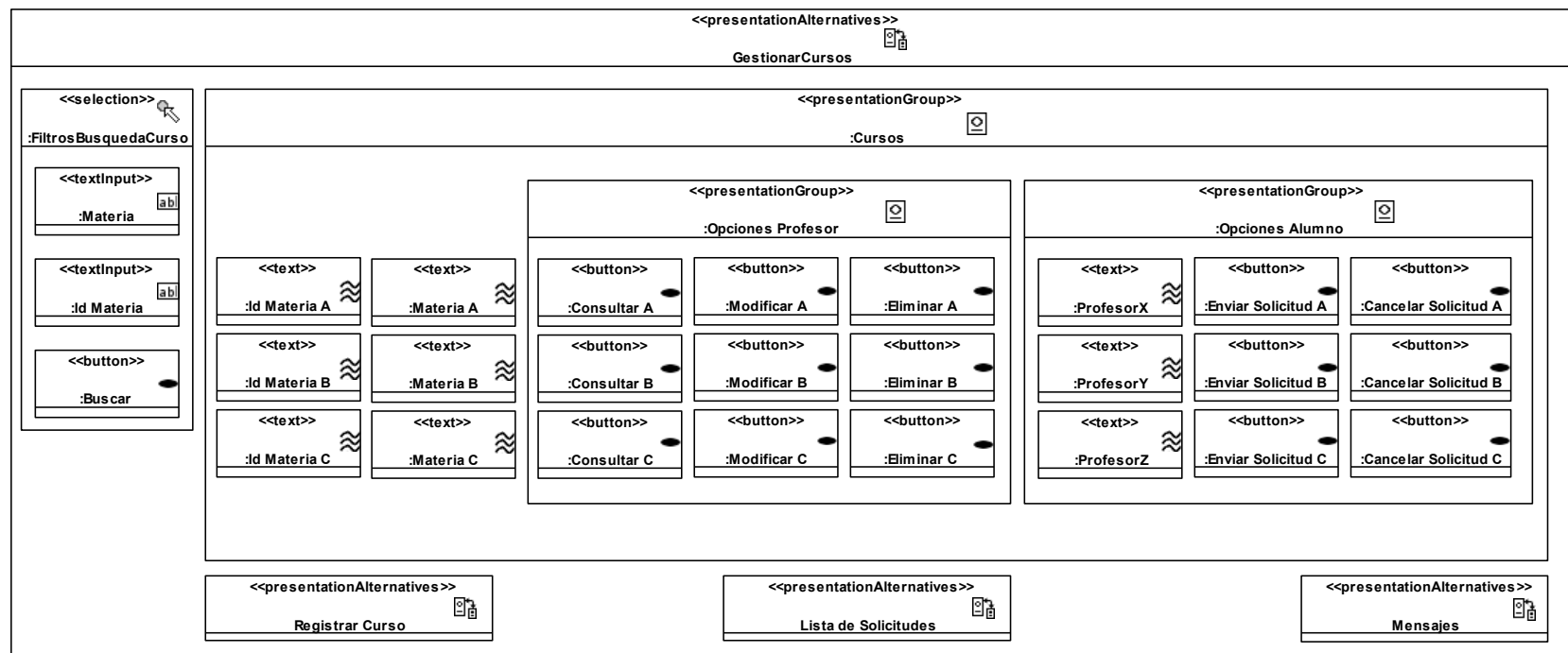


Figura 3. 44 Modelo de presentación área alternativa *Gestionar Cursos*

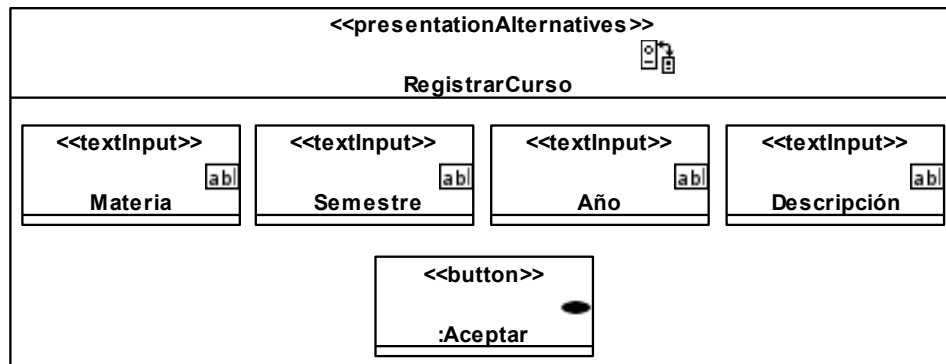


Figura 3. 45 Modelo de presentación área alternativa *Registrar Curso*

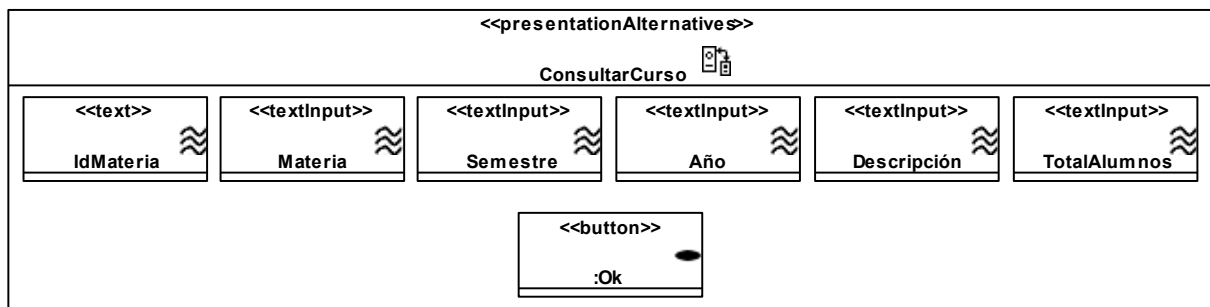


Figura 3. 46 Modelo de presentación área alternativa *Consultar Curso*

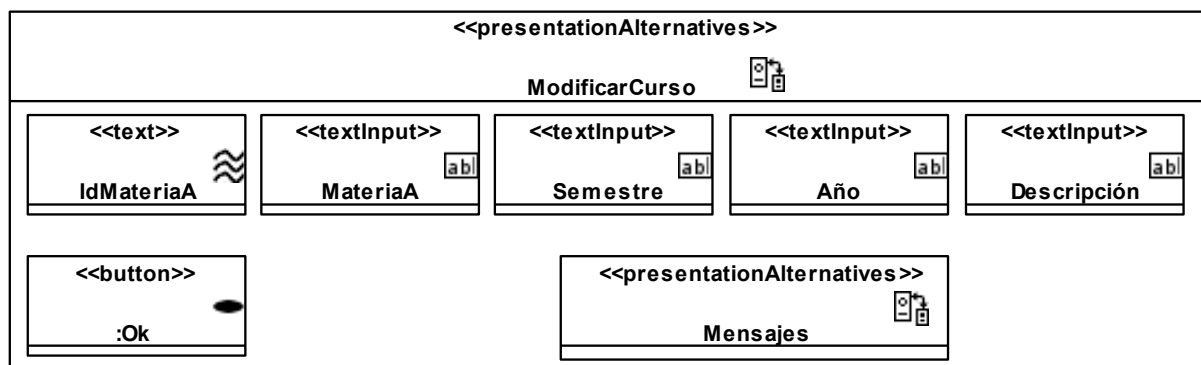


Figura 3. 47 Modelo de presentación área alternativa *Modificar Curso*

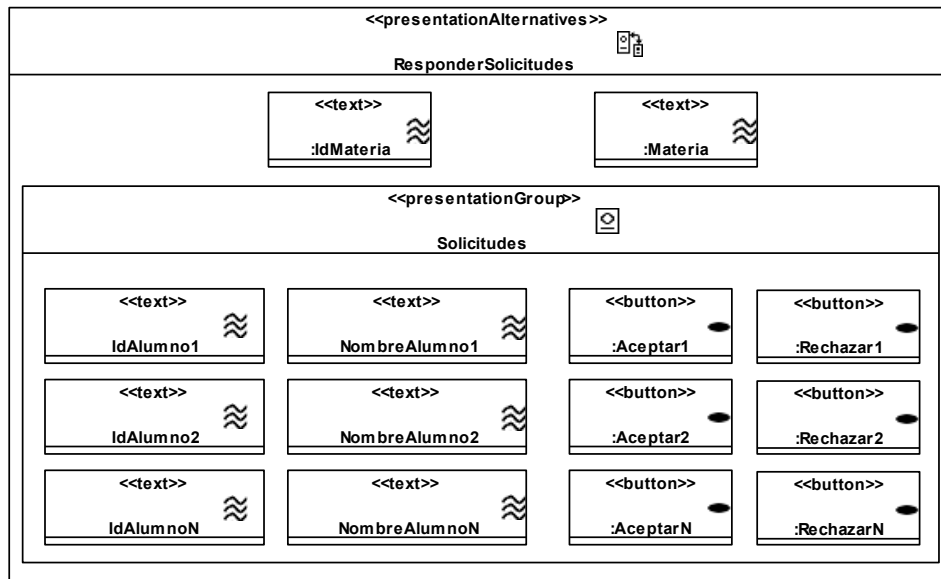


Figura 3. 48 Modelo de presentación área alternativa *Responder Solicitudes*

La *Página Calificaciones* se presenta en la Figura 3.49, esta exhibe las opciones que tienen los usuarios autenticados según el tipo de este.

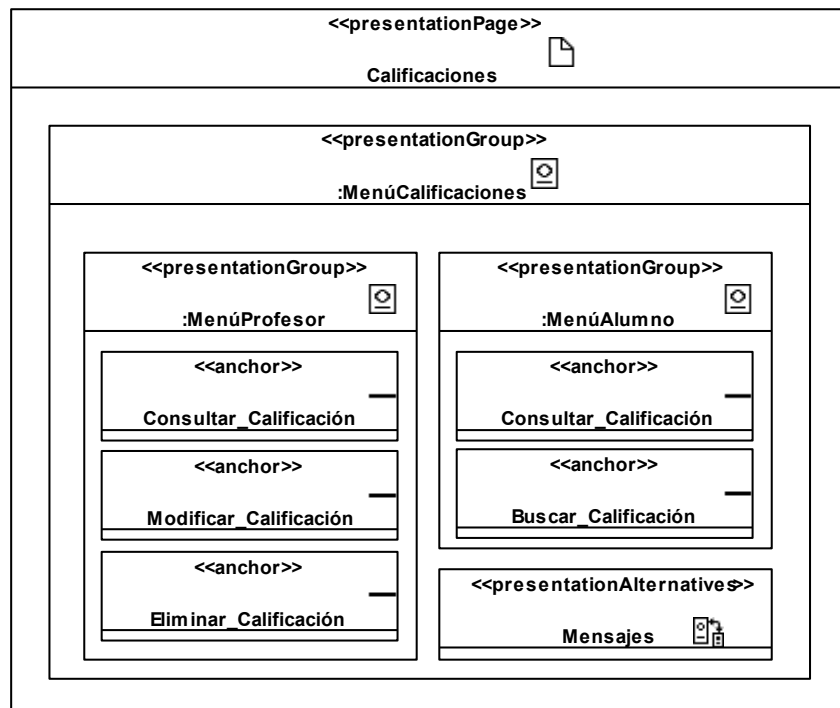


Figura 3. 49 Modelo de presentación *Página Calificaciones*

En la Figura 3.50, se muestra el área alternativa *Gestionar Calificaciones*, presenta información de calificaciones, inicia con la búsqueda de una materia y dando un número de examen o unidad. Los datos mostrados varían según el tipo de usuario autenticado. Cuando el usuario es un Profesor, el sistema muestra una tabla con un listado de alumnos junto con sus calificaciones respectivas. Es posible actualizar o eliminar estas calificaciones, y tiene la opción de imprimir la lista completa. Si el usuario es de tipo Alumno, el sistema muestra la calificación obtenida en el examen de la materia especificada. En esta sección, también se encuentra el área alternativa *Mensajes*, que proporciona mensajes de error o confirmación.

El modelo de presentación con el área alternativa *Modificar Calificación* brinda únicamente a los usuarios de tipo Profesor la capacidad de actualizar la calificación de un Alumno. Este se observa en la Figura 3.51. En la Figura 3.52 se presenta la *Página Exámenes*, la cual muestra diferentes opciones dependiendo del tipo de usuario autenticado en el sistema.

El modelo de presentación con el área alternativa *Gestionar Exámenes*, exhibe los exámenes asociados a una materia específica según la búsqueda realizada. Las opciones habilitadas varían dependiendo del tipo de usuario autenticado que realice la búsqueda. Si el usuario es de tipo Profesor, el sistema presenta un listado de exámenes registrados en el sistema por el usuario. Se proporcionan opciones para consultar, actualizar o eliminar cada examen, también para realizar la calibración de ítems de estos, así como la creación de nuevas reglas de asociación secuenciales y se habilita la alternativa para *Crear Examen*. Si el usuario es de tipo Alumno, el sistema muestra un listado de exámenes disponibles relacionados con la materia buscada y ofrece la opción de *Responder Examen*. En esta sección, también se incluye el modelo de presentación con el área alternativa *Mensajes*, que proporciona mensajes de error o confirmación según la situación. Este modelo se encuentra presentado en la Figura 3.53.

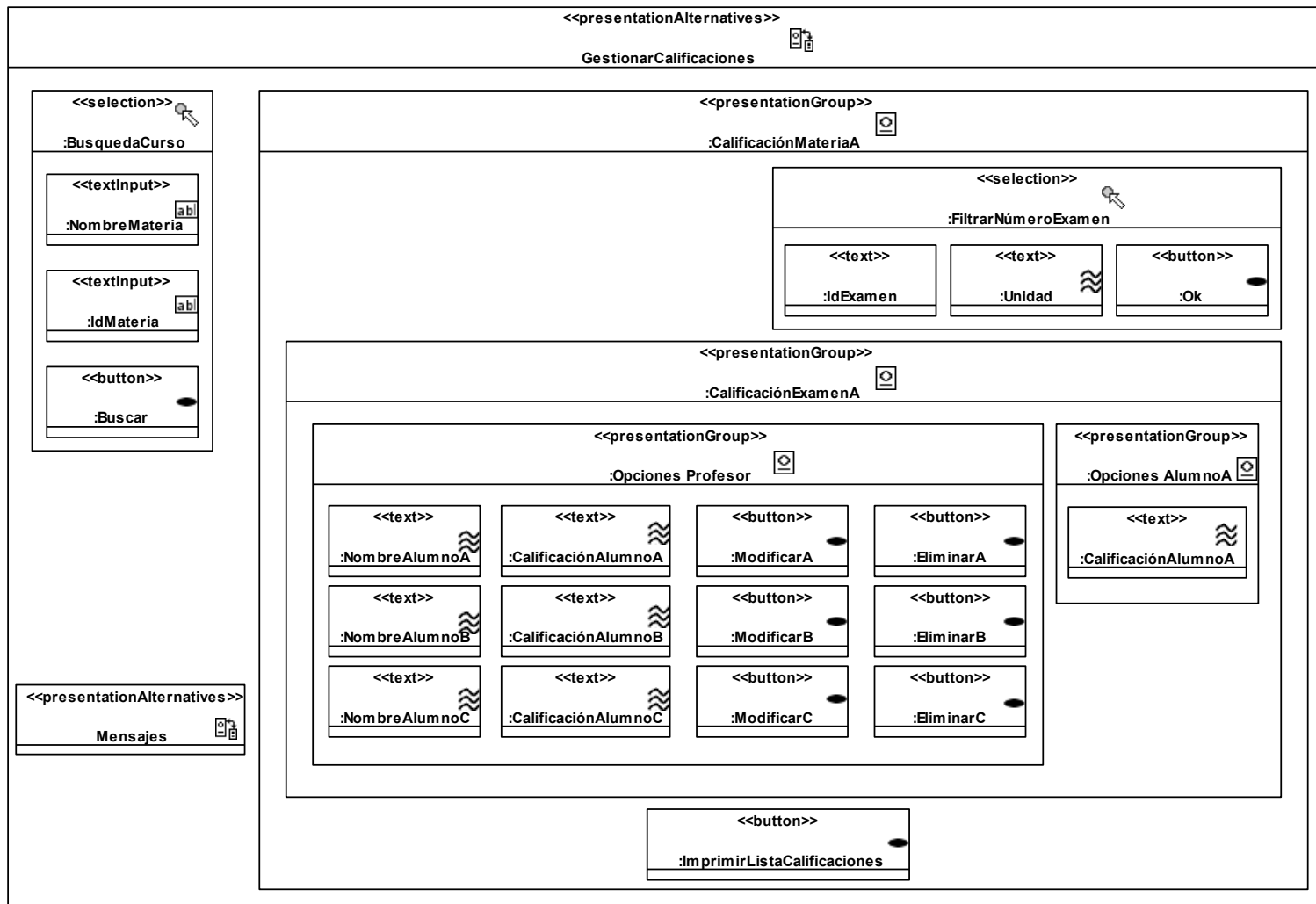


Figura 3. 50 Modelo de presentación área alternativa *Gestionar Calificaciones*

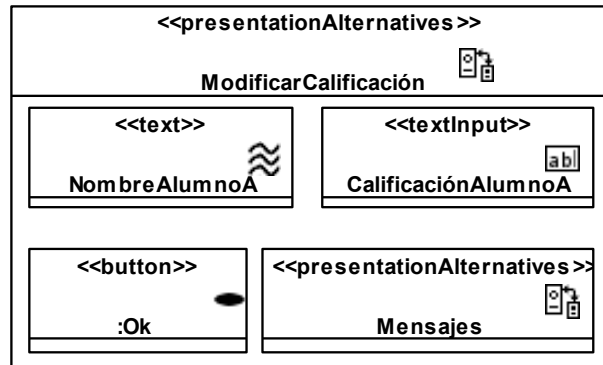


Figura 3. 51 Modelo de presentación área alternativa *Modificar Calificación*

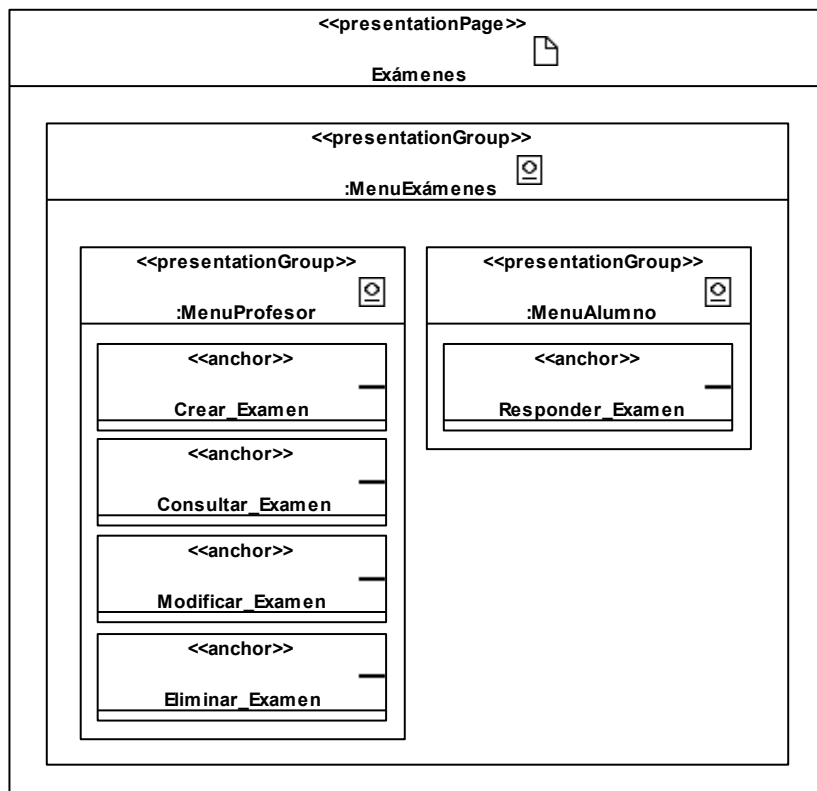


Figura 3. 52 Modelo de presentación *Página Examen*

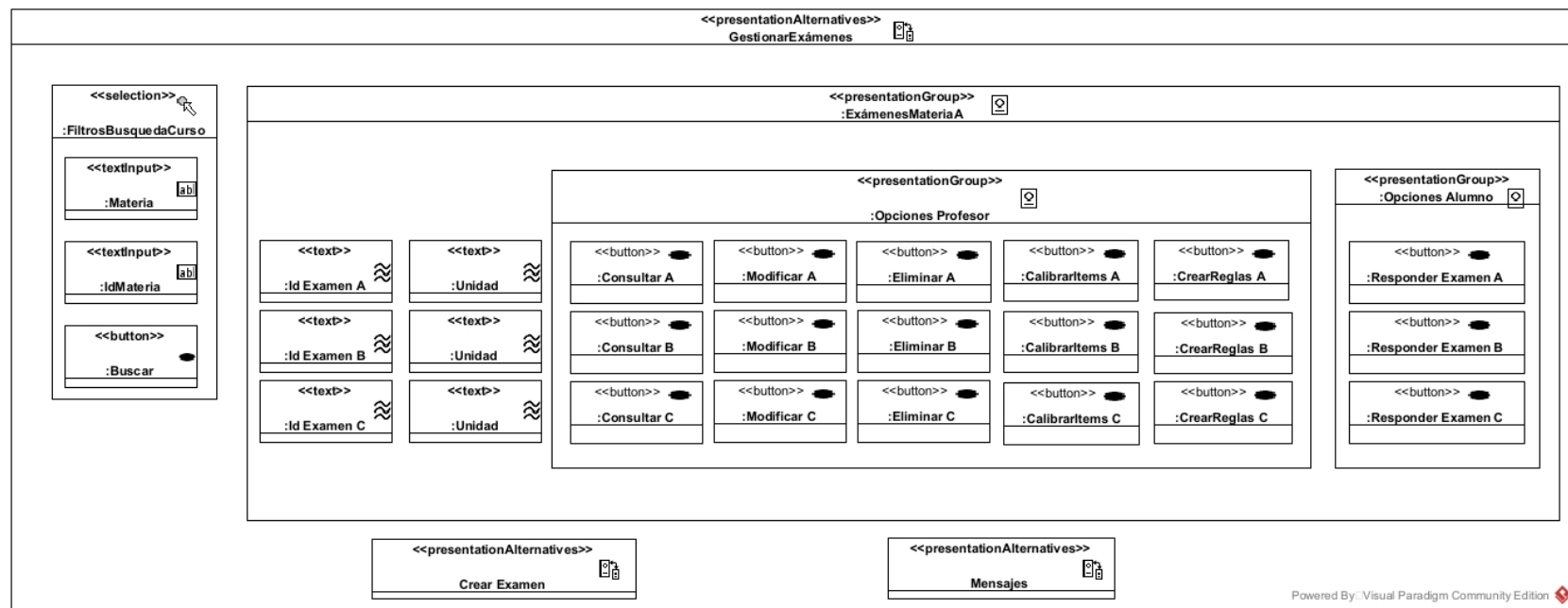


Figura 3. 53 Modelo de presentación área alternativa *Gestionar Exámenes*

La Figura 3.54 representa el modelo de presentación del área alternativa *Crear Examen*, que muestra los campos necesarios para la creación de un nuevo examen. El usuario de tipo Profesor debe indicar la materia, unidad, número de preguntas y el número de exámenes físicos contestados que ingresará al sistema. Luego, el usuario captura cada pregunta junto con las cuatro opciones de respuesta, eligiendo la opción correcta y la opción seleccionada por el alumno. Después de guardar cada pregunta, procede con la siguiente, repitiendo el proceso hasta alcanzar el número de preguntas ingresado. Una vez que se completan los exámenes, se habilita la opción para finalizar el proceso de creación. Esto activa el área alternativa *Calibrar Ítems*, que envía el conjunto de datos de exámenes respondidos para el proceso de calibración. Posteriormente, el sistema guarda los ítems calibrados.

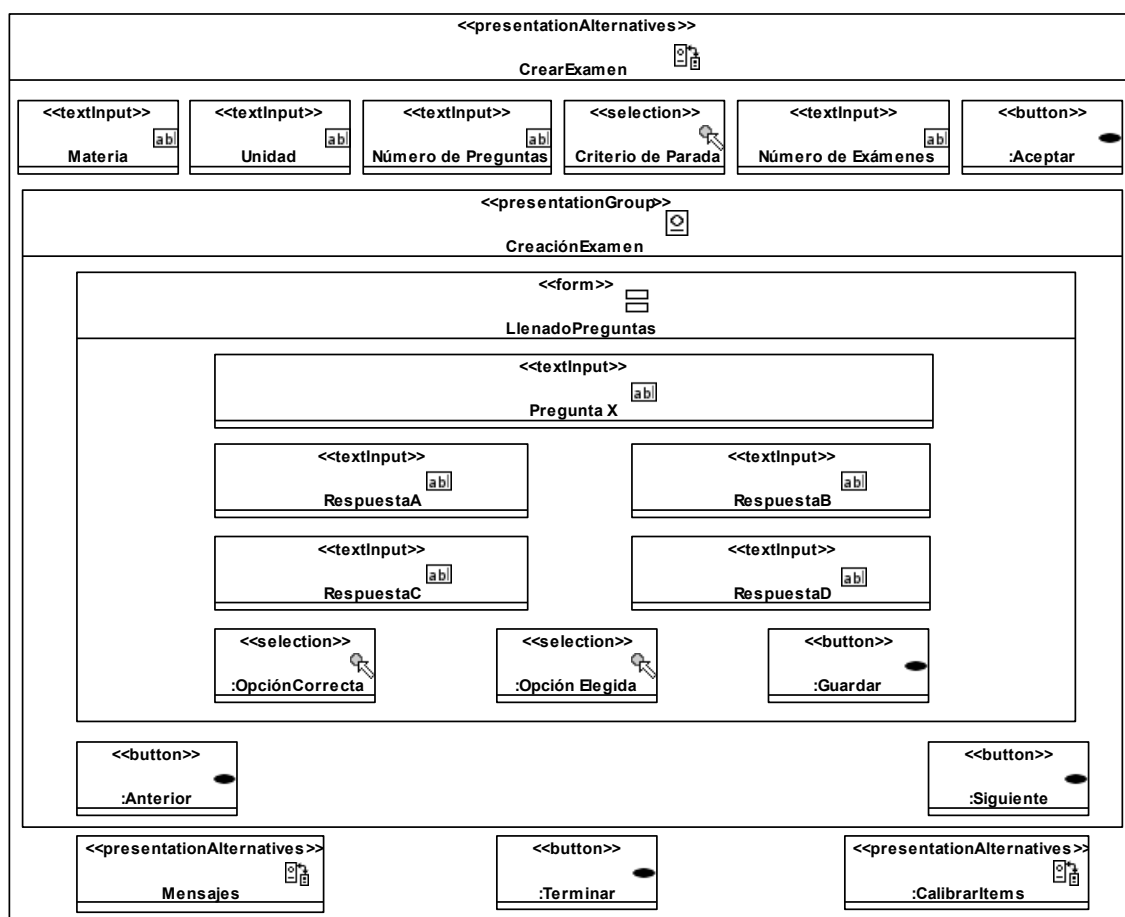


Figura 3. 54 Modelo de presentación área alternativa *Crear Examen*

El modelo de presentación con el área alternativa *Consultar Examen* exhibe la información del examen que fue elegido por un usuario de tipo Profesor, esta área solo permite observar el recorrido del examen, no es posible realizar cambios al examen en la misma, se representa en la Figura 3.55.

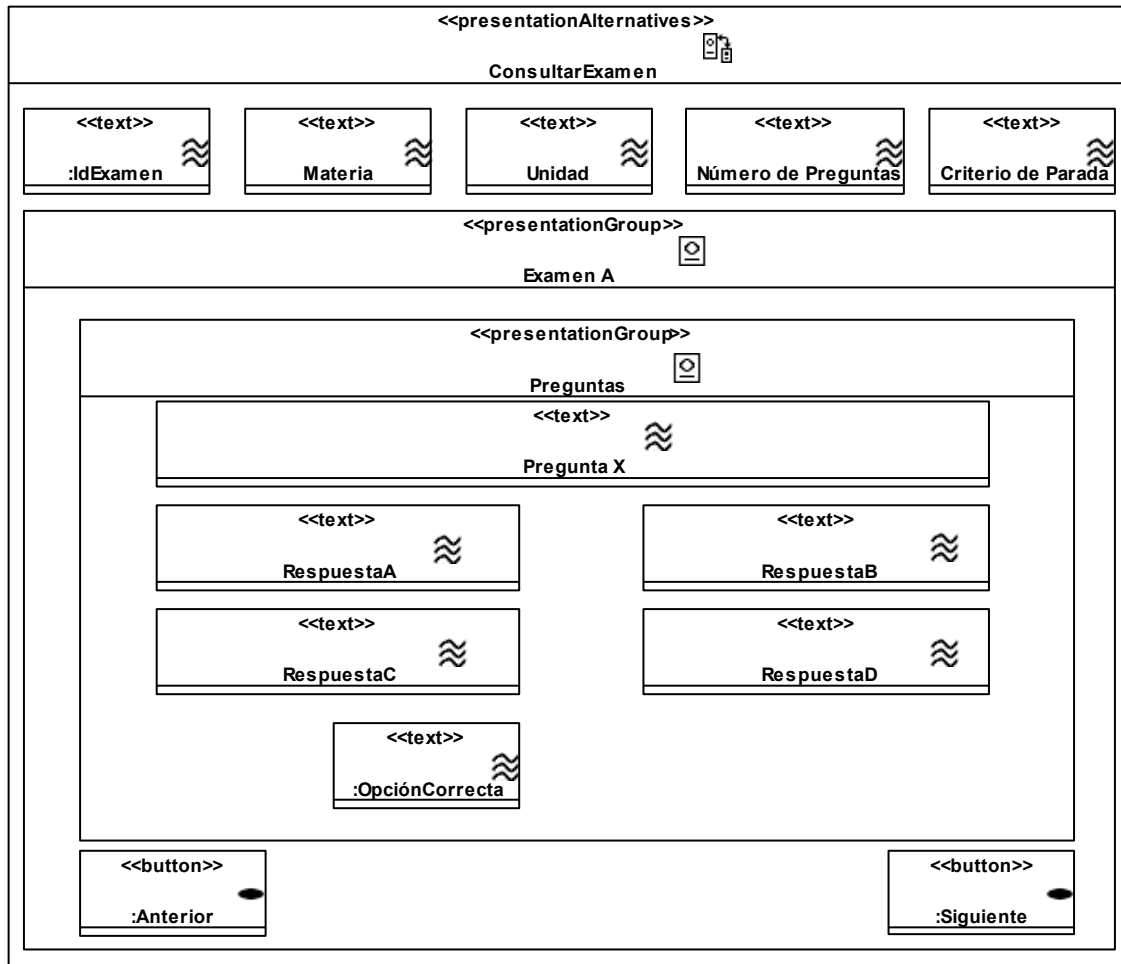


Figura 3. 55 Modelo de presentación área alternativa *Consultar Examen*

La Figura 3.56 muestra el modelo de presentación del área alternativa *Modificar Examen*, este da al usuario Profesor la capacidad de actualizar la información del examen seleccionado, o de las preguntas que conforman al mismo.

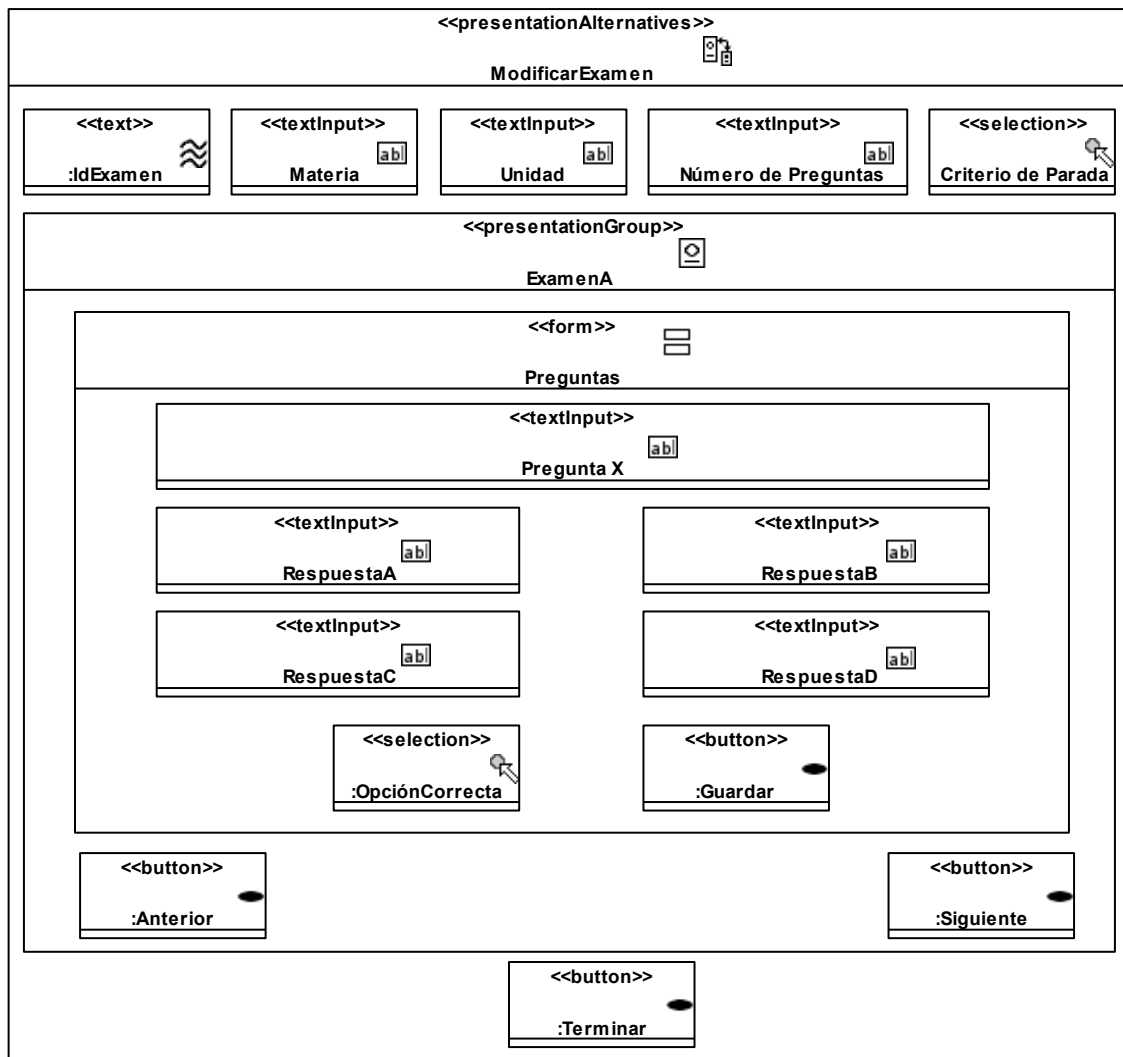


Figura 3. 56 Modelo de presentación del área alternativa *Modificar Examen*

El área alternativa *Responder Examen*, representada en la Figura 3.57, permite al usuario de tipo Alumno responder el examen seleccionado. Las preguntas se seleccionarán y presentarán con base en reglas de asociación secuenciales hasta que se cumpla el criterio de parada. Una vez que se alcanza este punto, el sistema presentará la calificación obtenida.

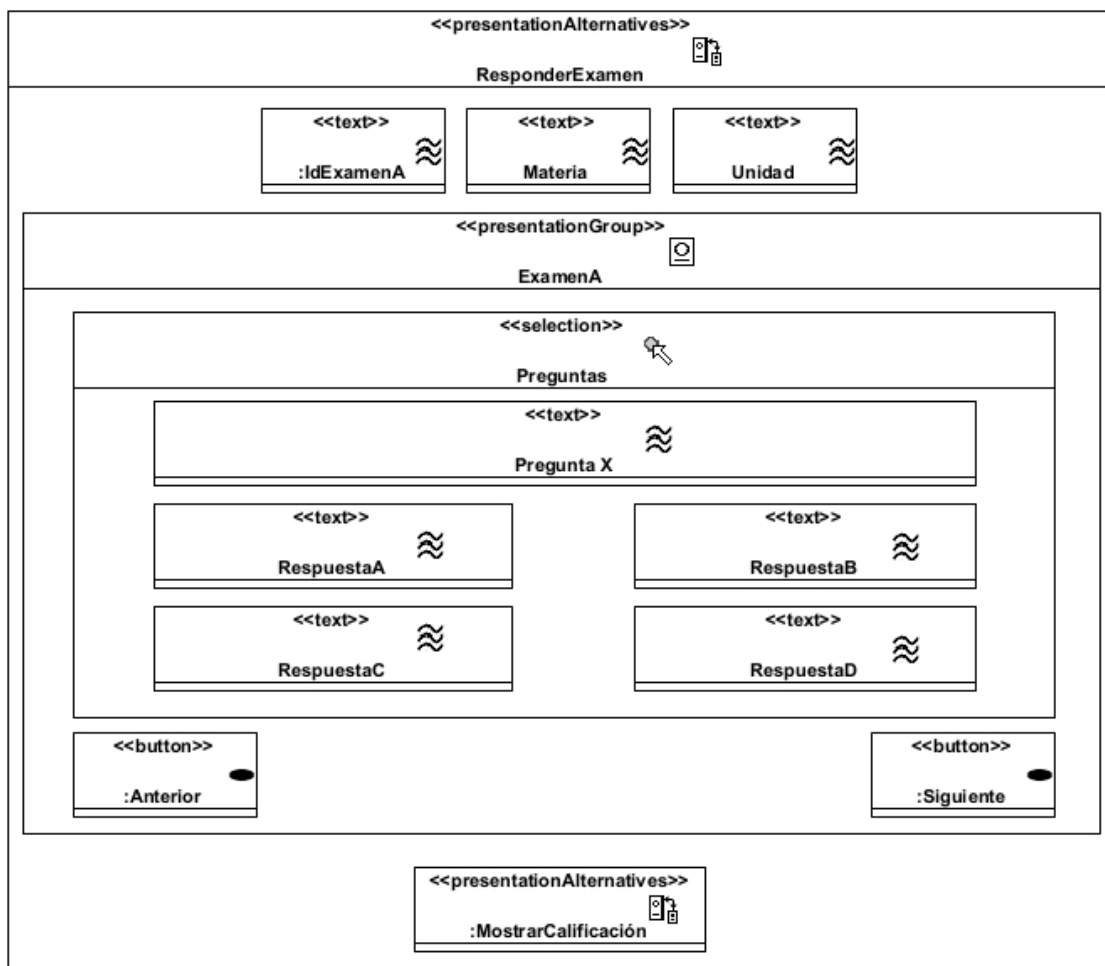


Figura 3. 57 Modelo de presentación área alternativa *Responder Examen*

Por último, la Figura 3.58 representa el área alternativa *Mensajes*, que permite mostrar en las páginas mensajes de errores de validación o mensajes de confirmación.

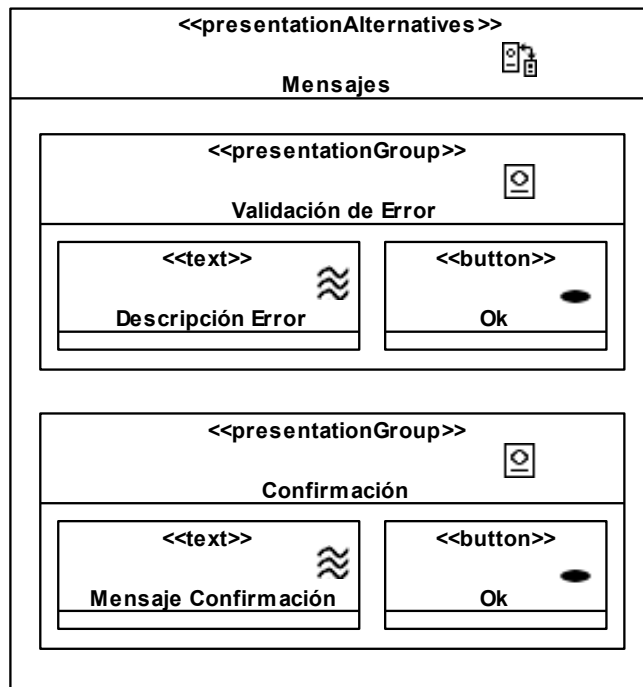


Figura 3. 58 Modelo de presentación área alternativa *Mensajes*

3.3.5. Modelo de proceso

Este modelo presenta una descripción detallada de los casos de uso a través de diagramas de actividades estereotipados. A continuación, se exhiben los diagramas correspondientes a cada uno de los casos de uso identificados para su implementación en la aplicación.

El diagrama de proceso de la Figura 3.59 representa al caso de uso de *Iniciar Sesión*, este comienza presentado la pantalla con el formulario para que el usuario lo llene con sus credenciales correspondientes, si estas son correctas, el sistema iniciará la sesión solicitada, en caso contrario, mostrará un mensaje de error y permanecerá en la pantalla de formulario.

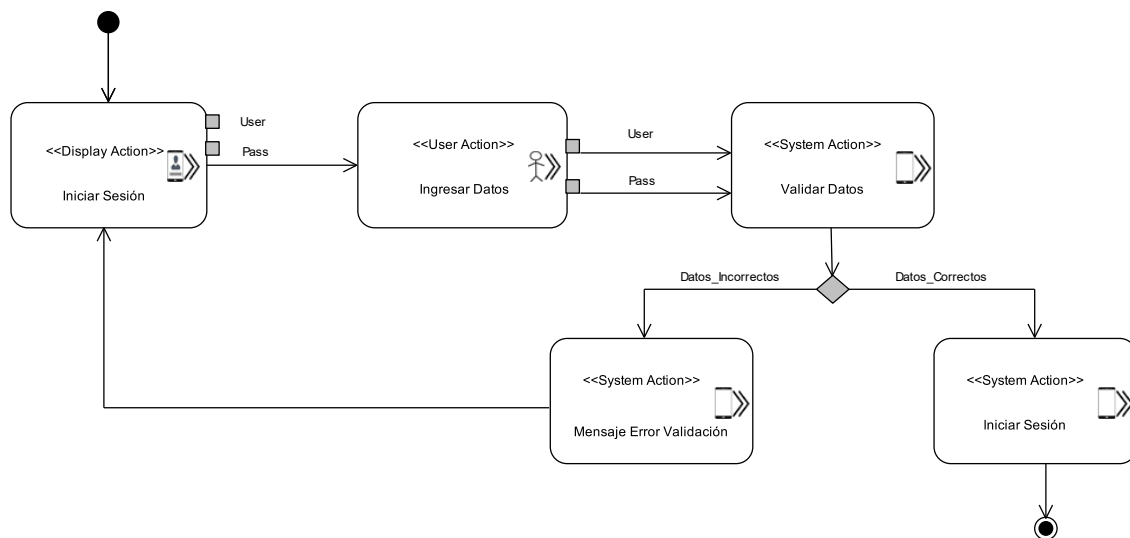


Figura 3. 59 Diagrama de proceso del caso de uso *Iniciar Sesión*

El caso de uso de *Cerrar Sesión* comienza presentando al usuario la opción de cerrar sesión, el sistema le preguntará al usuario que confirme si desea realizar esta acción, en caso afirmativo, el sistema ejecutará este proceso, en caso negativo, el sistema no realizará ninguna otra operación y volverá a donde comienza el caso de uso. Este se encuentra exhibido en la Figura 3.60.

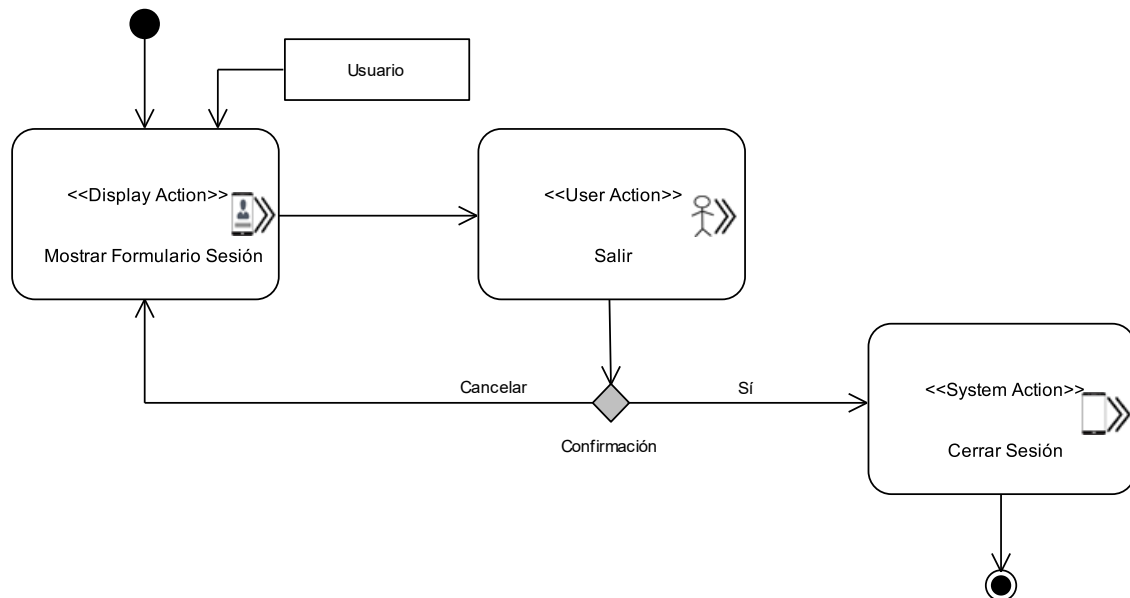


Figura 3. 60 Diagrama de Proceso del caso de uso *Cerrar Sesión*

En la Figura 3.61 se muestra el diagrama de proceso para el caso de uso de *Registrarse*, se aprecia que el caso inicia al mostrar la pantalla del formulario que contiene los datos necesarios para el registro de un nuevo usuario en el sistema, una vez validados por la aplicación. Si existe un error, se mostrará un mensaje de error y se regresará a la pantalla antes mencionada para la corrección de los datos. Si no existe ningún error, el sistema guarda los datos y el usuario queda registrado.

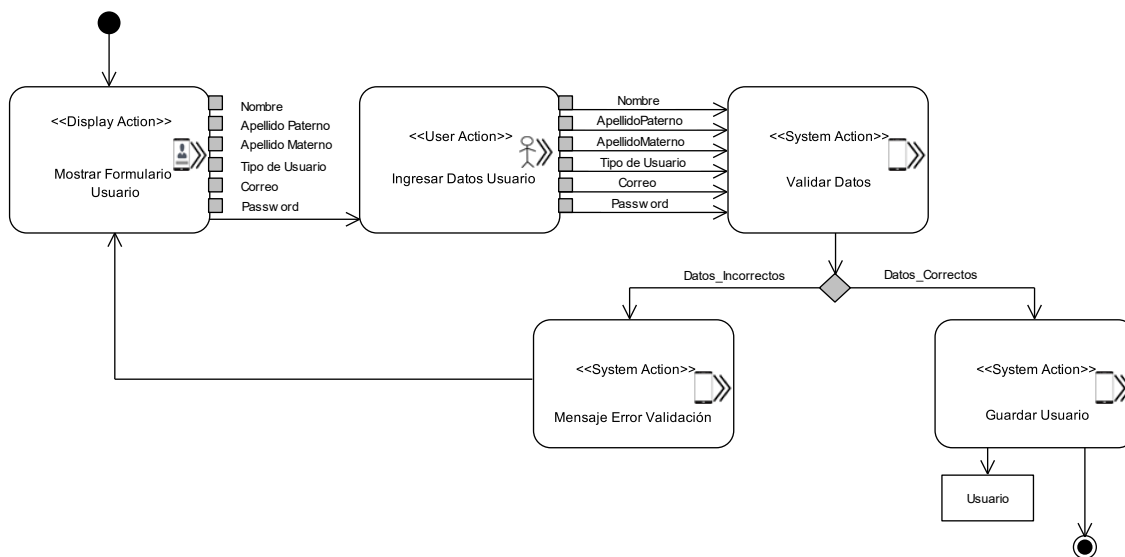


Figura 3. 61 Diagrama de Proceso del caso de uso *Registrarse*

El caso de uso de *Editar Perfil* inicia mostrando su información al usuario autenticado, para que este realice los cambios que desea en la misma, el sistema validará los cambios realizados, si encuentra algún error, se lo hará saber al usuario a través de un mensaje y regresándolo al formulario, en caso contrario, guarda los cambios realizados. Este se encuentra representado en el diagrama de proceso de la Figura 3.62.

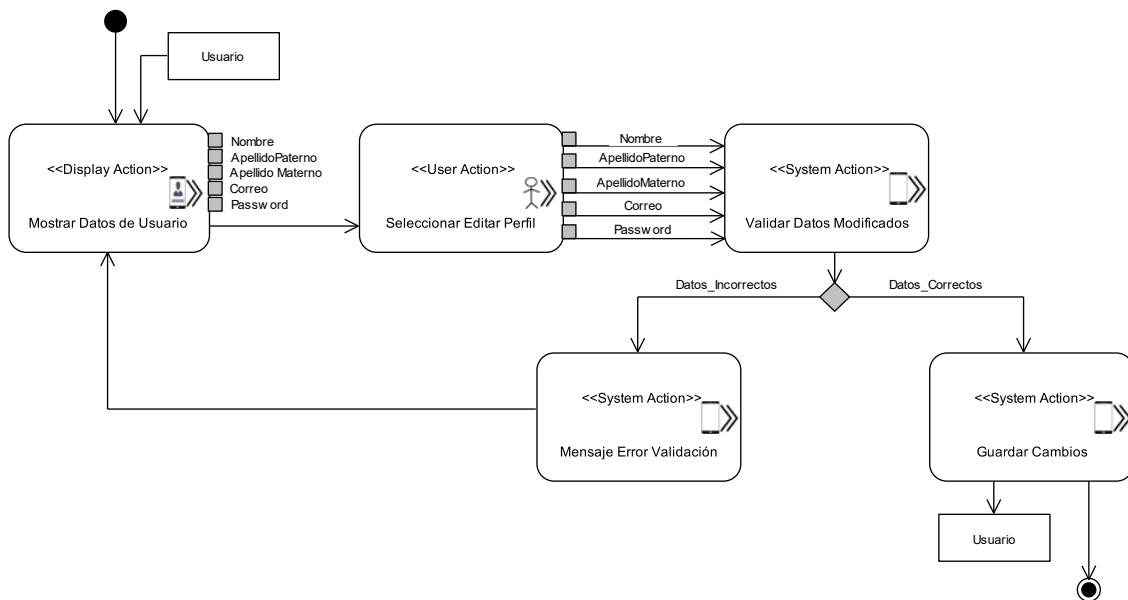


Figura 3. 62 Diagrama de Proceso del caso de uso *Editar Perfil*

En la Figura 3.63, se muestra el diagrama de proceso del caso de uso *Darse de Baja* en donde se presentará al usuario su información guardada en el sistema, y deberá seleccionar la opción de *Eliminar usuario*, luego de esto el sistema pedirá confirmación para realizar el proceso, en caso de confirmar, el sistema elimina al usuario, en caso contrario, el sistema regresará al usuario al formulario inicial.

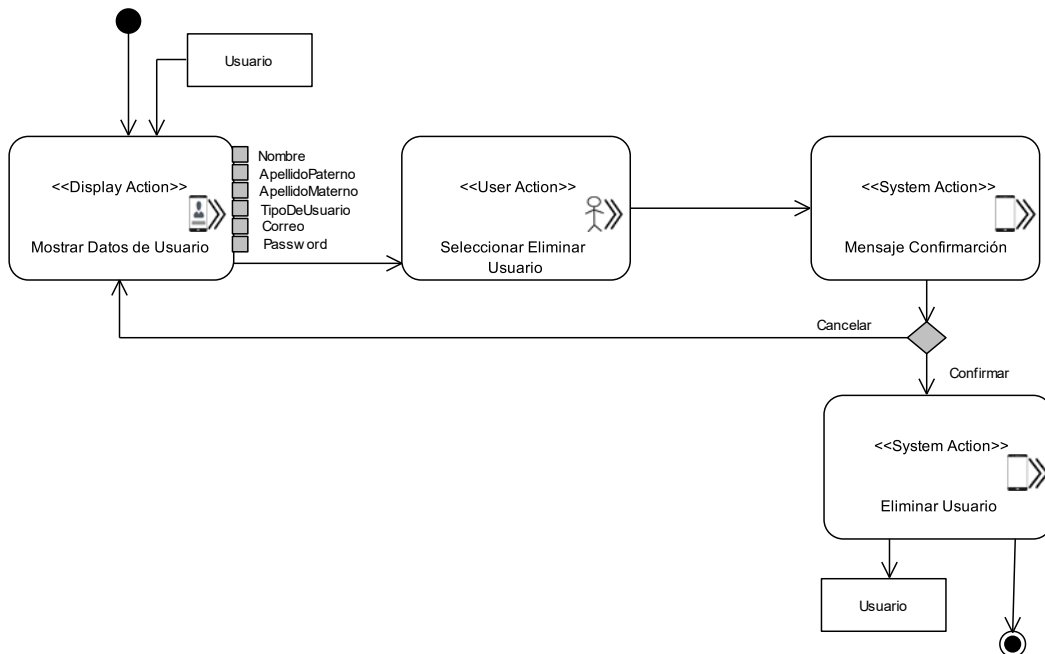


Figura 3. 63 Diagrama de Proceso del caso de uso *Darse de Baja*

El caso de uso *Recuperar Contraseña*, representado en el diagrama de proceso de la Figura 3.64, comienza mostrando la opción para recuperar la contraseña en la pantalla. Luego, el usuario selecciona esta opción, y se presenta el formulario para ingresar el correo electrónico registrado en el sistema. Después de que el usuario proporciona los datos, se envía un mensaje de confirmación de la operación. Si el usuario selecciona *Cancelar*, se retorna al formulario de inicio. En caso contrario, el sistema valida que el correo ingresado esté registrado. Si no está registrado, se redirige al usuario al formulario de ingreso de correo, indicando que el correo ingresado no existe en la base de datos. En caso contrario, se procede a enviar la contraseña al correo del usuario.

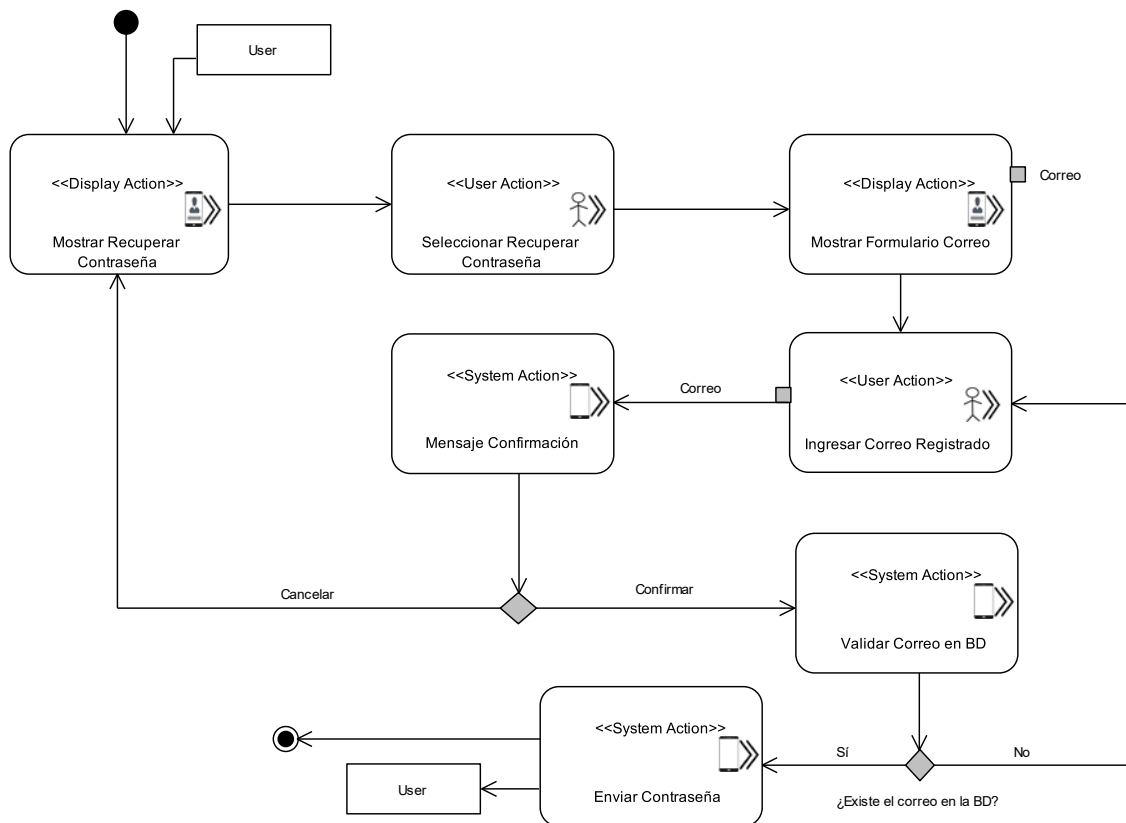


Figura 3. 64 Diagrama de actividad del caso de uso *Recuperar Contraseña*

El diagrama de proceso del caso de uso *Crear Examen* comienza mostrando un formulario en el que el usuario autorizado proporciona los datos básicos necesarios para la creación de un nuevo examen, destacando el requisito clave *Número de Exámenes*, que indica la cantidad de exámenes físicos contestados que se ingresarán, esta información es crucial para la calibración de ítems realizada al final del proceso. Posteriormente, el sistema guarda los datos y presenta el formulario de preguntas, cuya cantidad fue guardada anteriormente. Una vez que el usuario ingresa los datos de todas las preguntas, el sistema guarda el examen y verifica si se alcanzó el número de exámenes establecido previamente. En caso contrario, el sistema presenta nuevamente una a una las preguntas del examen anteriormente llenado, con el campo *Opción elegida* habilitado para completar los datos del segundo examen físico. Cuando se alcanza la cantidad deseada de exámenes llenados, el sistema invoca al caso de uso *Calibrar Ítems*, dando por concluido el proceso. Este se presenta en la Figura 3.65.

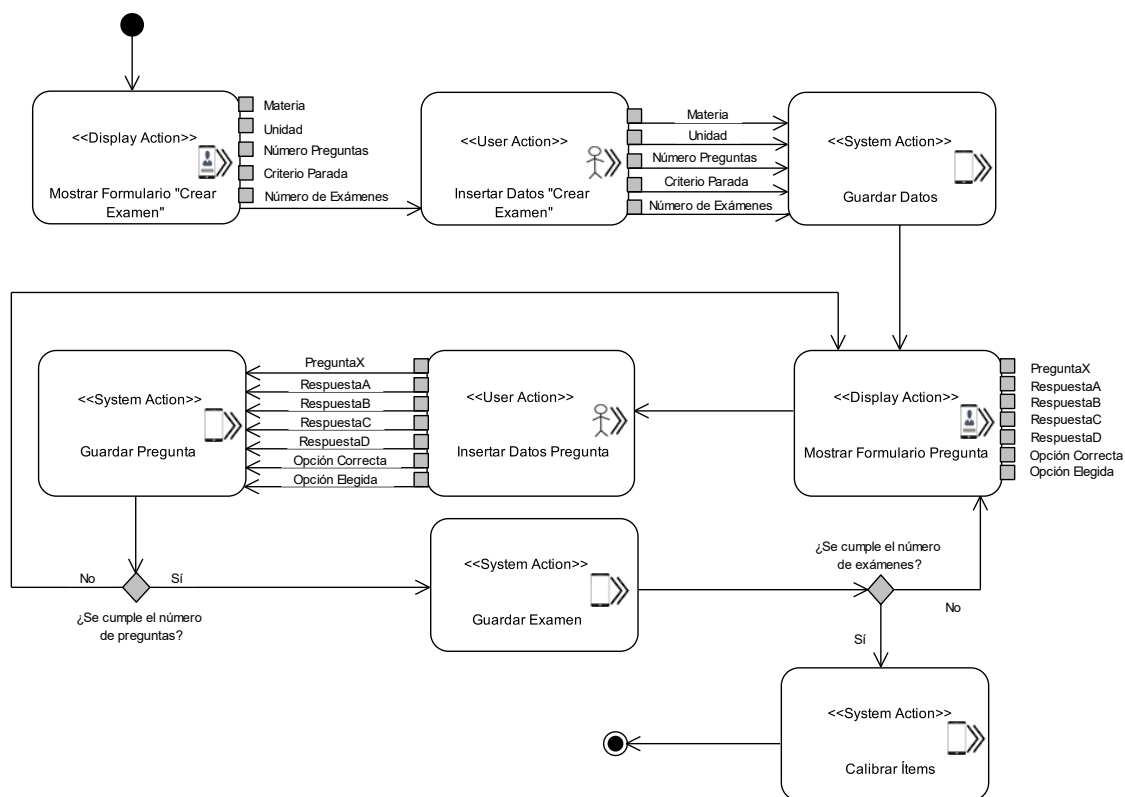


Figura 3. 65 Diagrama de proceso del caso de uso *Crear Examen*

El caso de uso *Consultar Examen* comienza mostrando un listado de los exámenes registrados que se encuentran disponibles, por medio de la *Página Gestionar Exámenes*, donde se habilitará el botón de *Consultar*, además de un formulario en el que los usuarios de tipo Profesor ingresarán el identificador del examen que quieren consultar, en caso de no encontrar valores con el identificador proporcionado, el sistema notifica de la inexistencia del registro, y se envía al usuario al listado, si la búsqueda arroja resultados con la información ingresada, el sistema mostrará los datos del examen buscado, también es capaz de acceder a la información con el botón de *Modificar*. Este caso de uso está representado en la Figura 3.66.

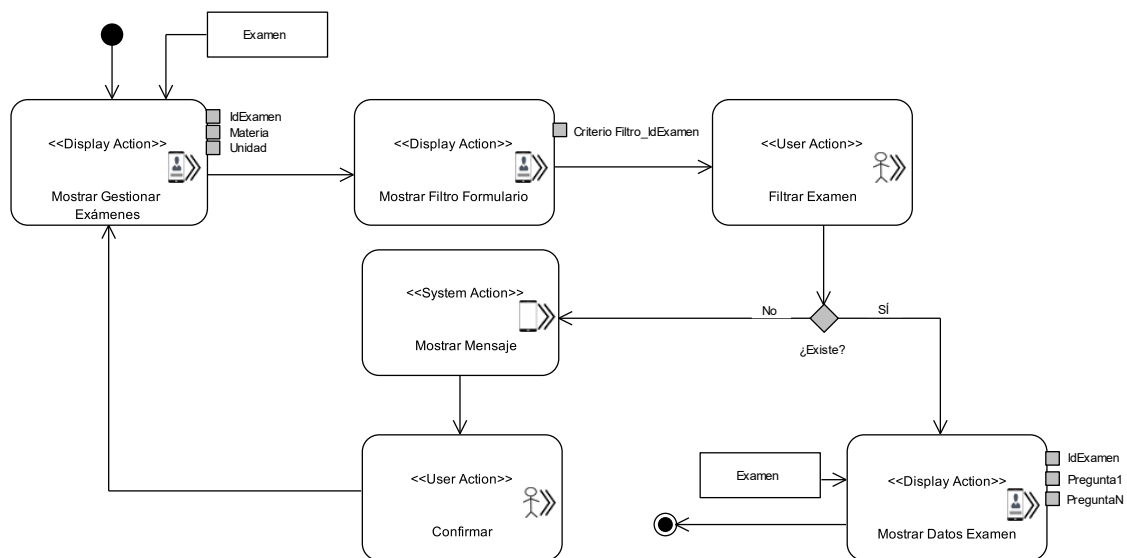


Figura 3. 66 Diagrama de proceso del caso de uso *Consultar Examen*

En la Figura 3.67 se encuentra el diagrama de proceso que representa al caso de uso *Modificar Examen*, el cual da inicio exhibiendo un listado de los exámenes disponibles en el sistema por medio de la *Página Gestionar Exámenes* donde cada uno de los mismos tendrá habilitada la opción *Modificar*, al pulsa dicho botón, el sistema presentará la información del examen para que el usuario la modifique, una vez que termine las actualizaciones deseadas el caso termina guardando los cambios. Cabe resalta que este proceso también se realiza por medio de un filtro en el cual el usuario

autorizado ingresa el identificador del examen que desea modificar. Si el resultado del filtro es negativo, el sistema muestra un mensaje de examen no encontrado, el usuario confirma y regresa a la página donde se encuentran todos los exámenes. Si el resultado del filtro es positivo, se realiza el proceso antes descrito y termina el caso.

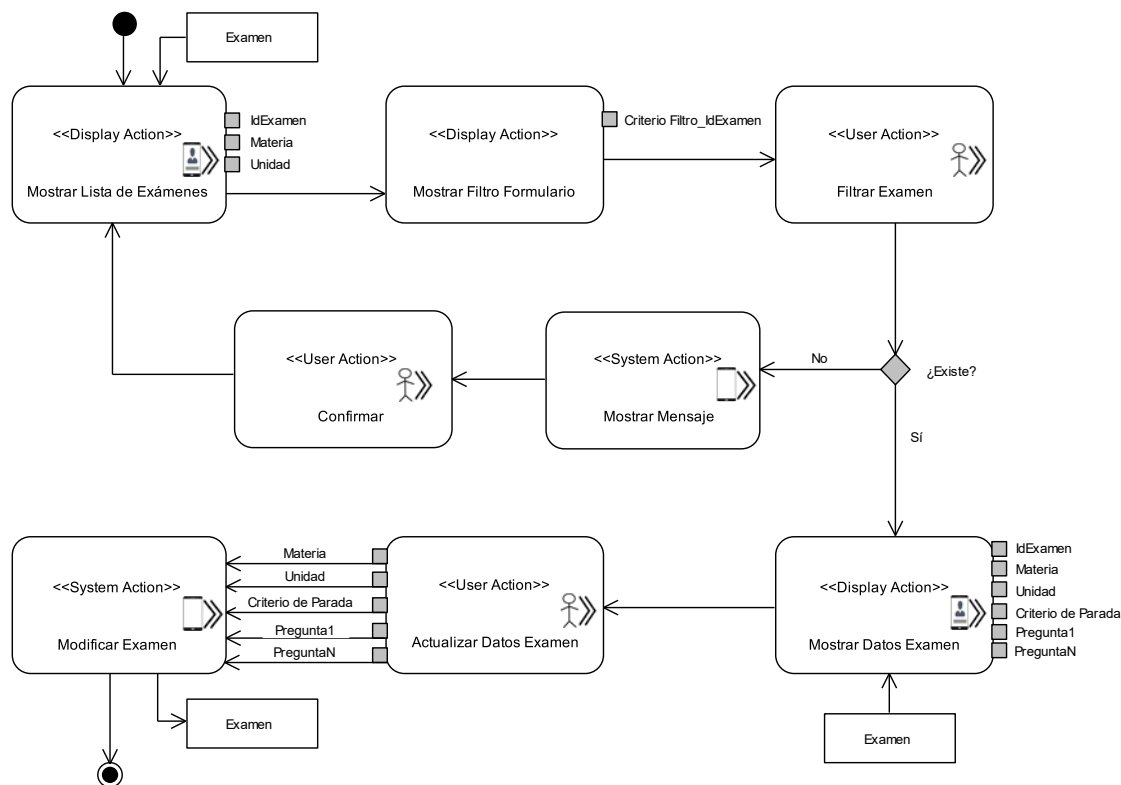


Figura 3. 67 Diagrama de actividad del caso de uso *Modificar Examen*

El caso de uso *Eliminar Examen* se visualiza en la Figura 3.68. Comienza mostrando en la pantalla la lista de todos los exámenes registrados en el sistema a través de la *Página Gestionar Exámenes*, con la opción de *Eliminar* habilitado para cada uno, junto con un filtro donde se debe ingresar el identificador del examen a eliminar, si el filtro no arroja resultados, el sistema muestra un mensaje indicando que no se encontró el examen y se redirige al usuario al listado mencionado anteriormente, en caso de encontrar resultados, el sistema presenta los datos del examen seleccionado para que el usuario autorizado confirme su deseo de eliminarlo. Una vez confirmado, el sistema lleva a cabo el proceso solicitado, y finaliza el proceso.

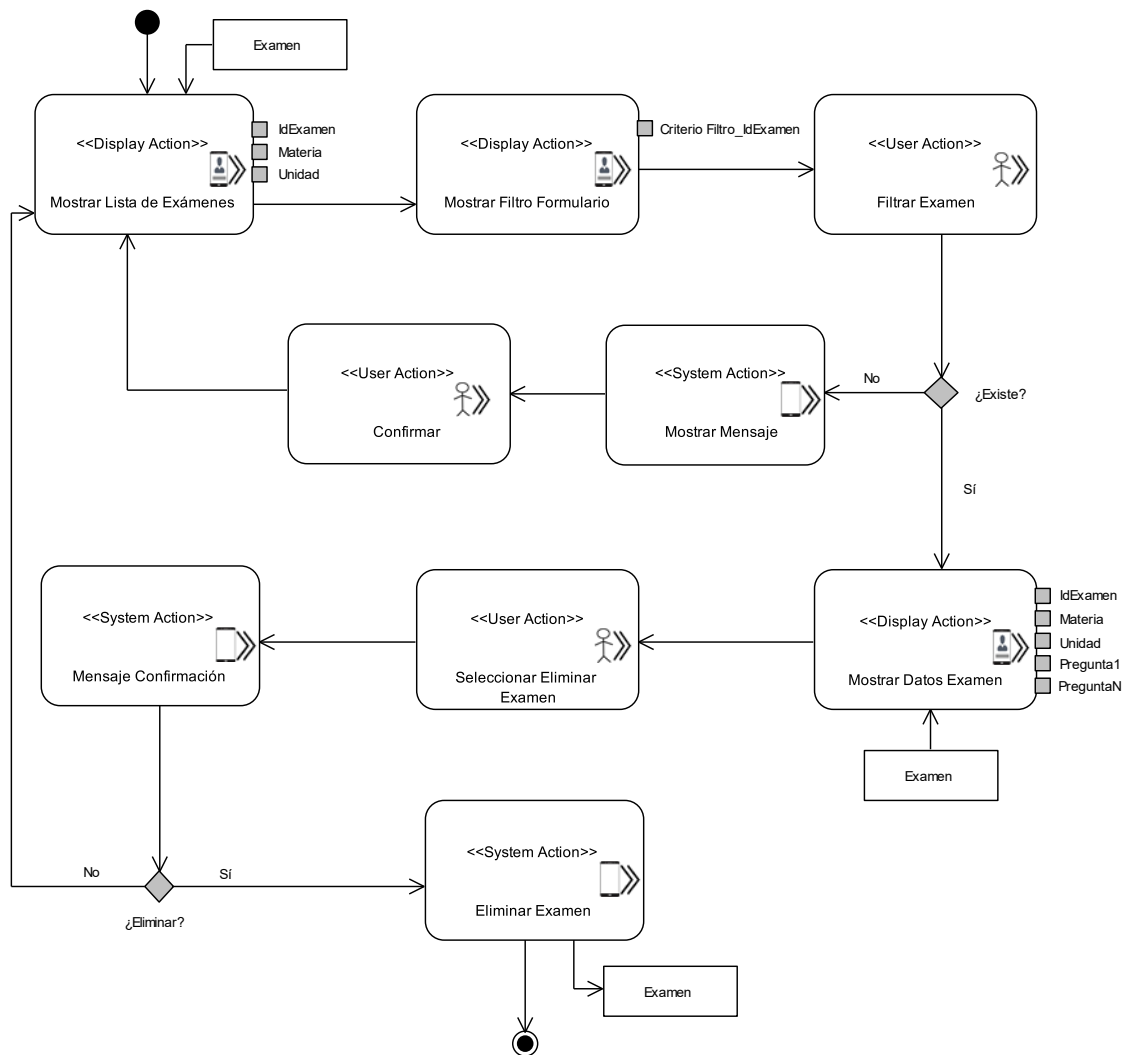


Figura 3. 68 Diagrama de proceso del caso de uso *Eliminar Examen*

El caso de uso *Consultar Calificaciones* se encuentra exhibido en el diagrama de proceso de la Figura 3.69, este comienza mostrando un listado de los exámenes contestados y el formulario de filtro, donde el usuario ingresa el identificador del examen del cual desea consultar los resultados. Si el filtro no arroja resultados, se muestra un mensaje indicando que no se encuentra el examen buscado. El usuario confirma y regresa a la página que lista todos los exámenes. En caso de que el filtro encuentre el examen, si el usuario es de tipo Profesor, el sistema mostrará otro listado con todas las calificaciones obtenidas de los alumnos, en caso de que el usuario sea de tipo Alumno, el sistema presentará únicamente la calificación del examen seleccionado obtenida por el mismo, finalizando el caso.

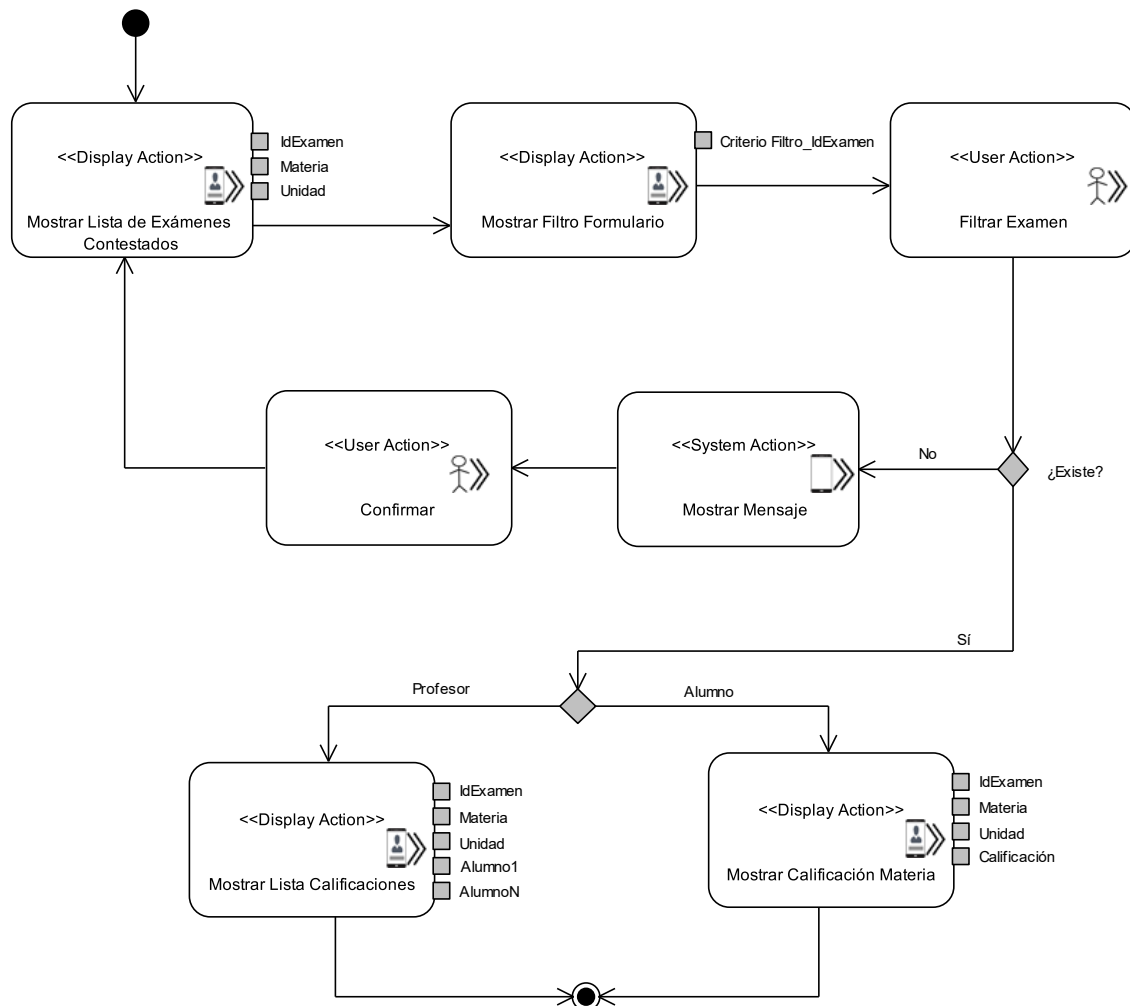


Figura 3. 69 Diagrama de proceso del caso de uso *Consultar Calificaciones*

El diagrama de proceso del caso de uso *Modificar Calificaciones* se ilustra en la Figura 3.70. Inicia mostrando la lista de todos los exámenes contestados disponibles y el formulario de filtro, donde el usuario autorizado ingresa el identificador del examen cuyas calificaciones desea modificar. Si el resultado del filtro es negativo, el sistema presenta un mensaje indicando que no se encontró el examen buscado. El usuario confirma y regresa a la página que lista todos los exámenes. En caso de un resultado positivo, el sistema muestra la lista de alumnos junto con sus calificaciones del examen correspondiente. Además, habilita el botón *Modificar* mediante el cual el usuario de tipo Profesor es capaz de actualizar cada calificación. El proceso concluye con la realización y guardado de los cambios hechos.

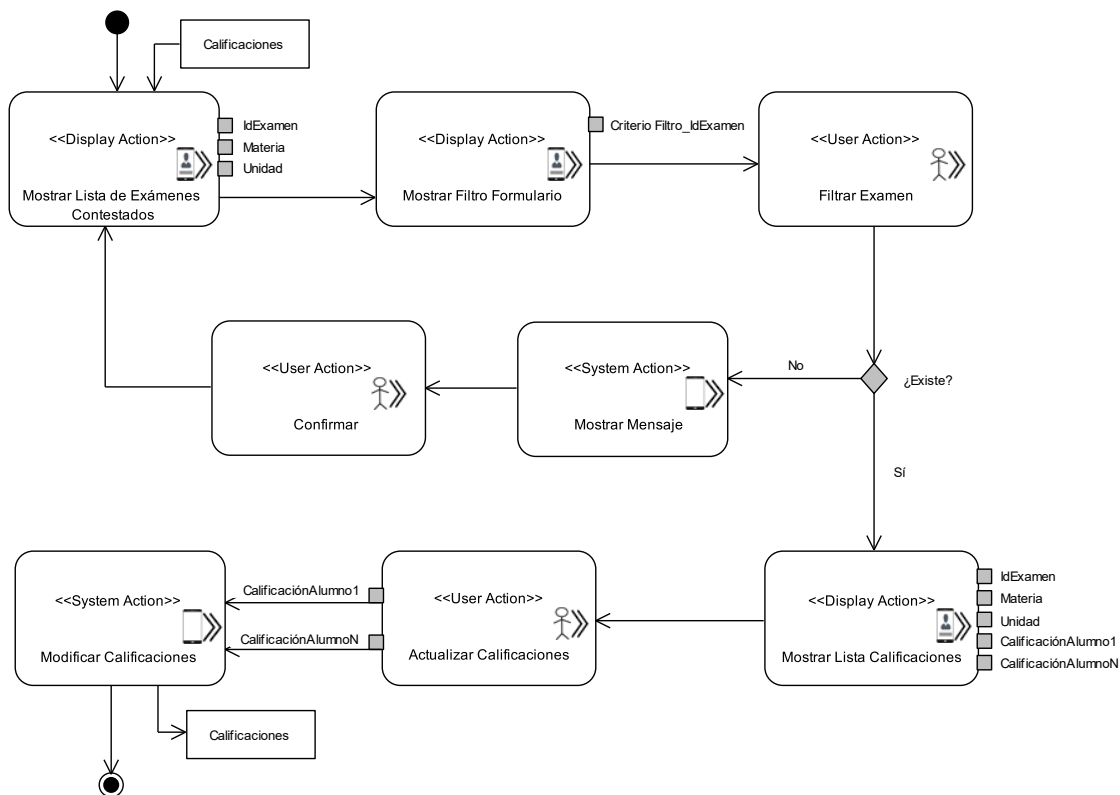


Figura 3. 70 Diagrama de proceso del caso de uso *Modificar Calificaciones*

El diagrama de proceso de la Figura 3.71 representa al caso de uso *Eliminar Calificaciones*. Comienza mostrando en la pantalla un listado de todos los exámenes contestados por los alumnos y un formulario de filtro, donde el usuario autorizado debe ingresar el identificador del examen cuyas calificaciones desea eliminar. Si el filtrado no arroja resultados, el sistema muestra un mensaje indicando que no se encontró el examen buscado. El usuario confirma el mensaje y regresa a la página que lista todos los exámenes. Si el filtro arroja resultados, el sistema muestra la lista de alumnos junto con sus calificaciones del examen correspondiente, habilitando el botón *Eliminar*. A través de este botón, el usuario tiene la capacidad de eliminar cada calificación. El proceso concluye con el guardado de los cambios realizados, previa confirmación del usuario.

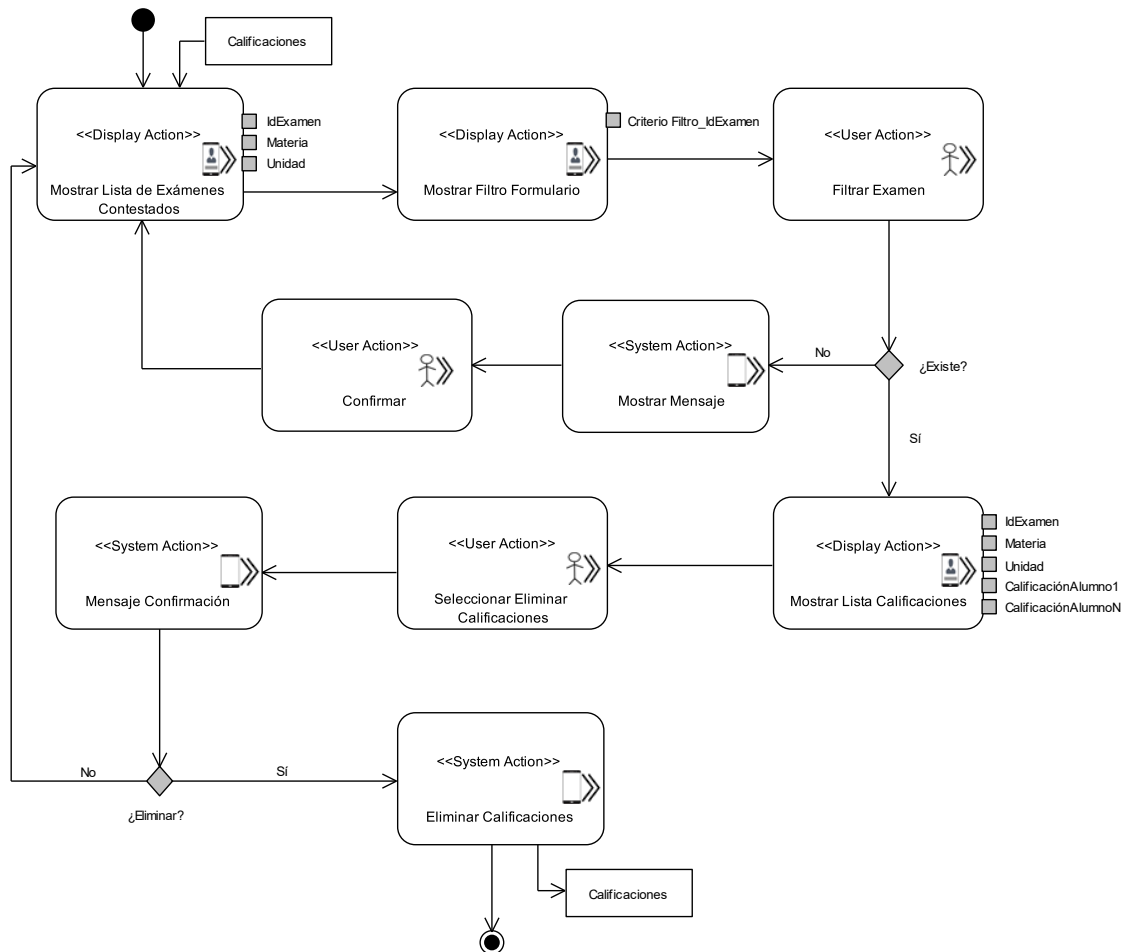


Figura 3. 71 Diagrama de proceso del caso de uso *Eliminar Calificaciones*

Por otra parte, el caso de uso *Registrar Curso* inicia con el sistema mostrando la pantalla con el formulario donde el usuario de tipo Profesor introduce los datos necesarios para el registro de un curso, el sistema valida estos datos, si existe un error, se regresará al usuario al formulario para la corrección de este. En caso de no encontrar ningún error, el sistema registra los datos del nuevo curso y termina el caso de uso. Este se representa en la Figura 3.72.

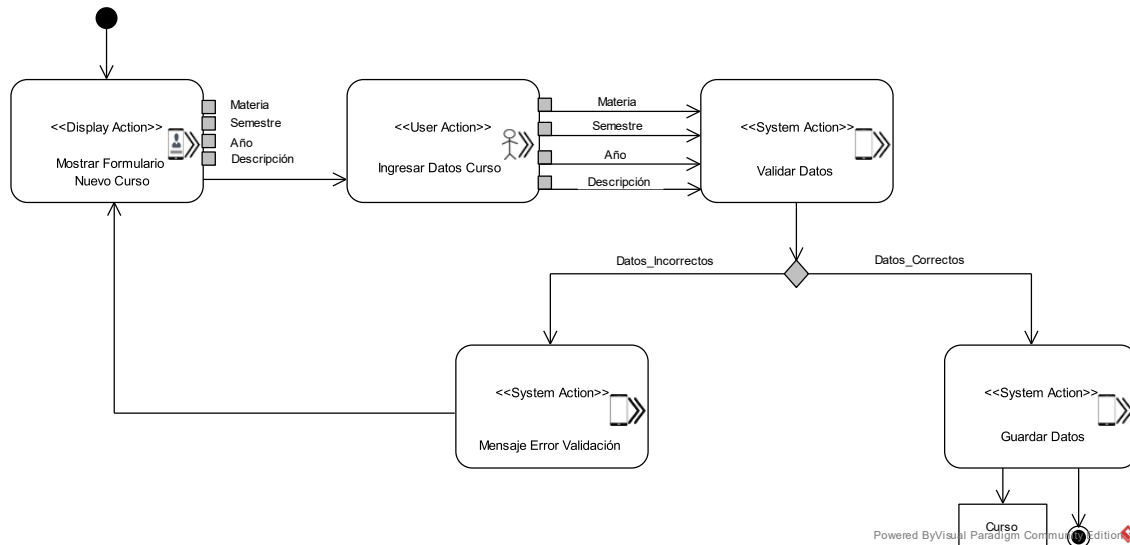


Figura 3. 72 Diagrama de proceso del caso de uso *Registrar Curso*

Para el caso de uso *Consultar Curso* se tiene el diagrama de proceso de la Figura 3.73, que inicia presentando el listado de cursos registrados en el sistema a través de la *Página Gestionar Cursos*, cada uno de ellos tiene habilitado el botón *Consultar* además de esto se tiene un formulario con el que los usuarios de tipo Profesor ingresarán el identificador del curso deseado. En caso de no obtener resultados, para el valor proporcionado por el usuario, el sistema mostrará un mensaje indicando la inexistencia de ese curso. El usuario debe confirmar y regresa nuevamente a la página mencionada anteriormente. Si el filtro arroja resultados, o si el usuario accede directamente desde el botón *Modificar*, el sistema mostrará todos los datos del curso deseado.

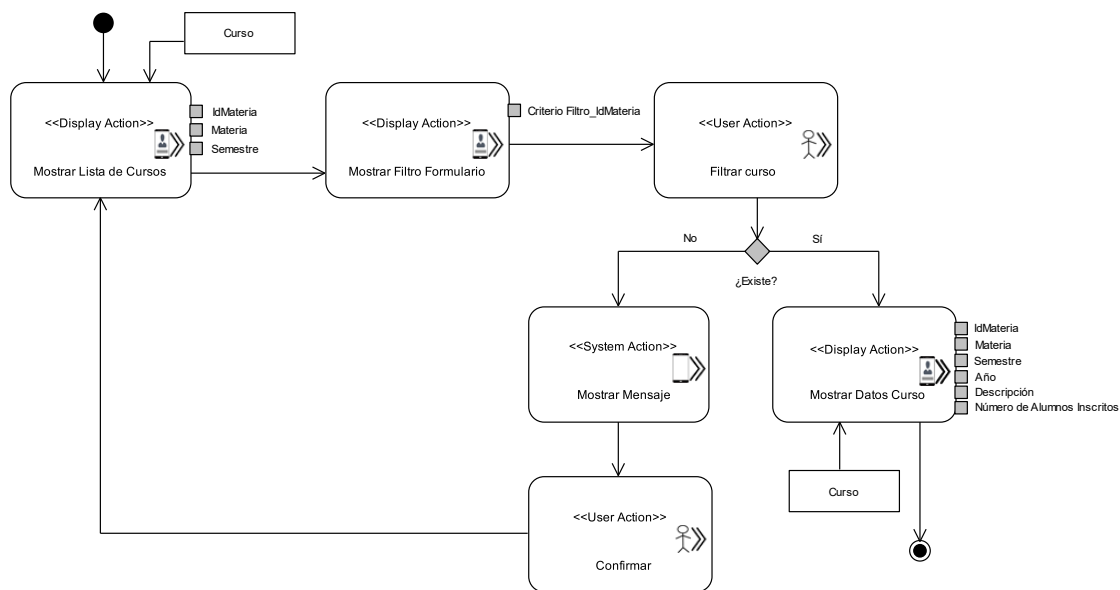


Figura 3. 73 Diagrama de proceso del caso de uso *Consultar Curso*

El caso de uso de *Modificar Curso* inicia mostrando en la pantalla la lista de cursos registrados en el sistema por medio de la *Página Gestionar Cursos*. En esta lista, cada curso tiene habilitado el botón *Modificar*, y se ofrece la opción de un filtro donde el usuario autorizado deberá ingresar el identificador del curso a consultar. Si el curso no se encuentra mediante el filtro, el sistema emite un mensaje indicando la inexistencia del curso, y el usuario debe confirmar, para redirigirse de nuevo al listado completo de cursos. En caso de localizar el curso, ya sea a través del filtro o mediante el botón mencionado, el sistema presenta la información correspondiente para realizar los cambios deseados. Una vez completados, el proceso concluye con el registro de las modificaciones. Este caso de uso está presentado en la Figura 3.74.

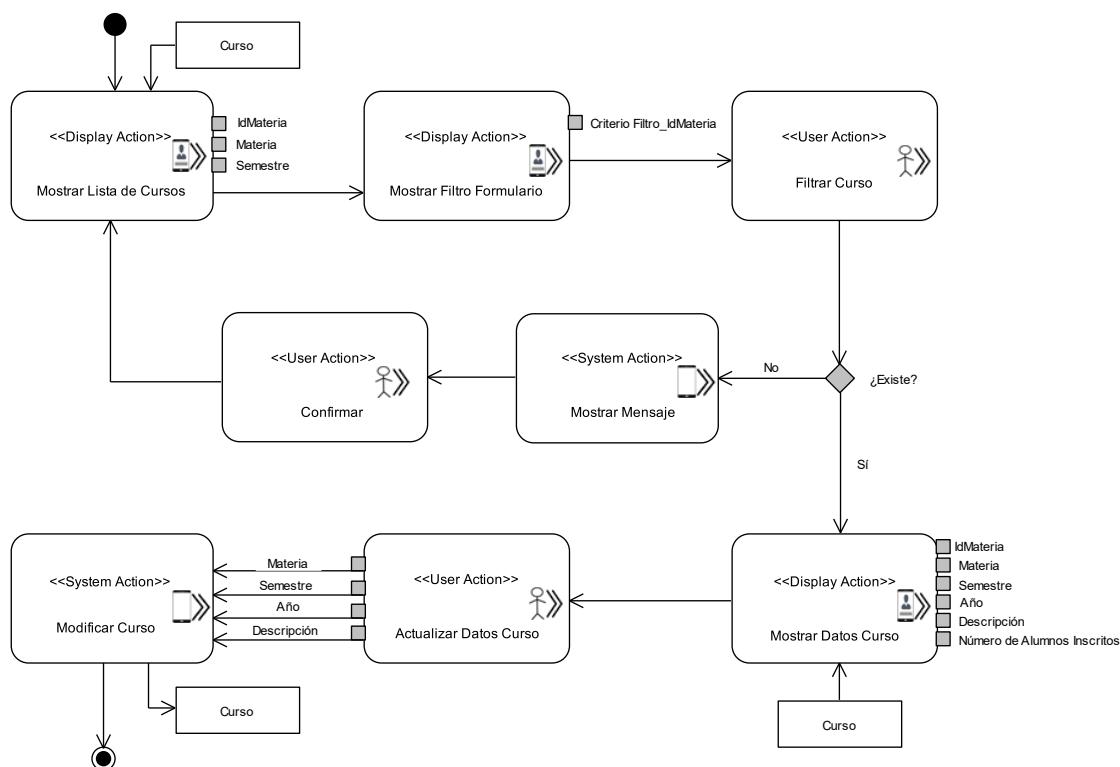


Figura 3. 74 Diagrama de proceso del caso de uso *Modificar Curso*

El diagrama de procedimiento para el caso de uso *Eliminar Curso* está ilustrado en la Figura 3.75. Este proceso comienza mostrando en la pantalla la lista de cursos registrados en el sistema mediante la *Página Gestionar Cursos*. En esta lista, cada curso tiene habilitado el botón *Eliminar*, y se proporciona un filtro donde el usuario autorizado ingresa el ID del curso a eliminar. Si el filtro no encuentra registros, el sistema muestra un mensaje indicando que el curso no fue encontrado. El usuario confirma y regresa a la página mencionada. En caso de que el filtro encuentre resultados o si el usuario usa directamente el botón *Eliminar*, el sistema presenta los datos del curso seleccionado, permitiendo al usuario autorizado indicar la voluntad de eliminarlo. El sistema procede con el proceso solicitado después de la confirmación del usuario, y el proceso concluye con la eliminación del curso.

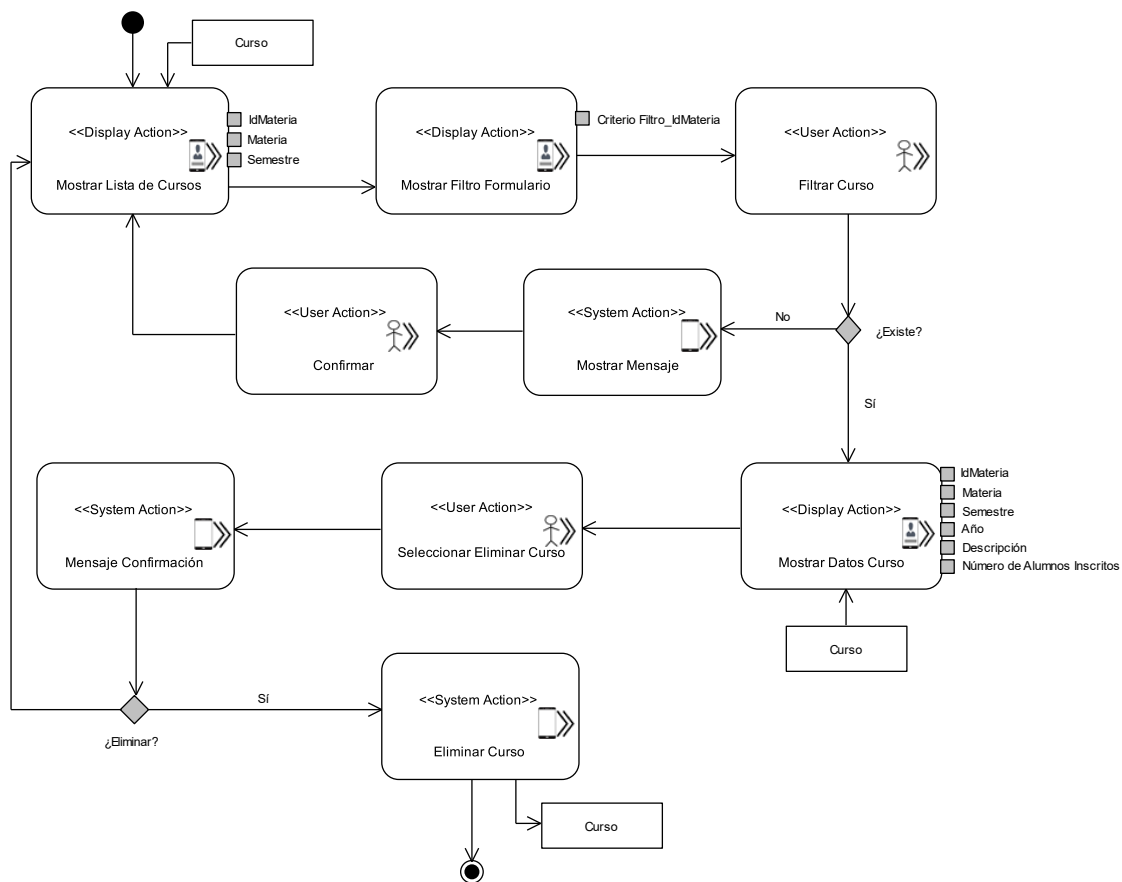


Figura 3. 75 Diagrama de proceso del caso de uso *Eliminar Curso*

En la Figura 3.76 se observa el diagrama de proceso que representa al caso de uso de *Enviar Solicitud*, que comienza mostrando un listado de los cursos disponibles, los usuarios de tipo Alumno deberán seleccionar el curso al que desean inscribirse, luego el sistema mostrará un mensaje pidiendo confirmación de envío de la solicitud, si el usuario no confirma, regresará a la página del listado, en caso contrario, el sistema realiza el proceso de envío, dicha solicitud se recibe por el usuario de tipo Profesor encargado del curso, finalizando el caso de uso.

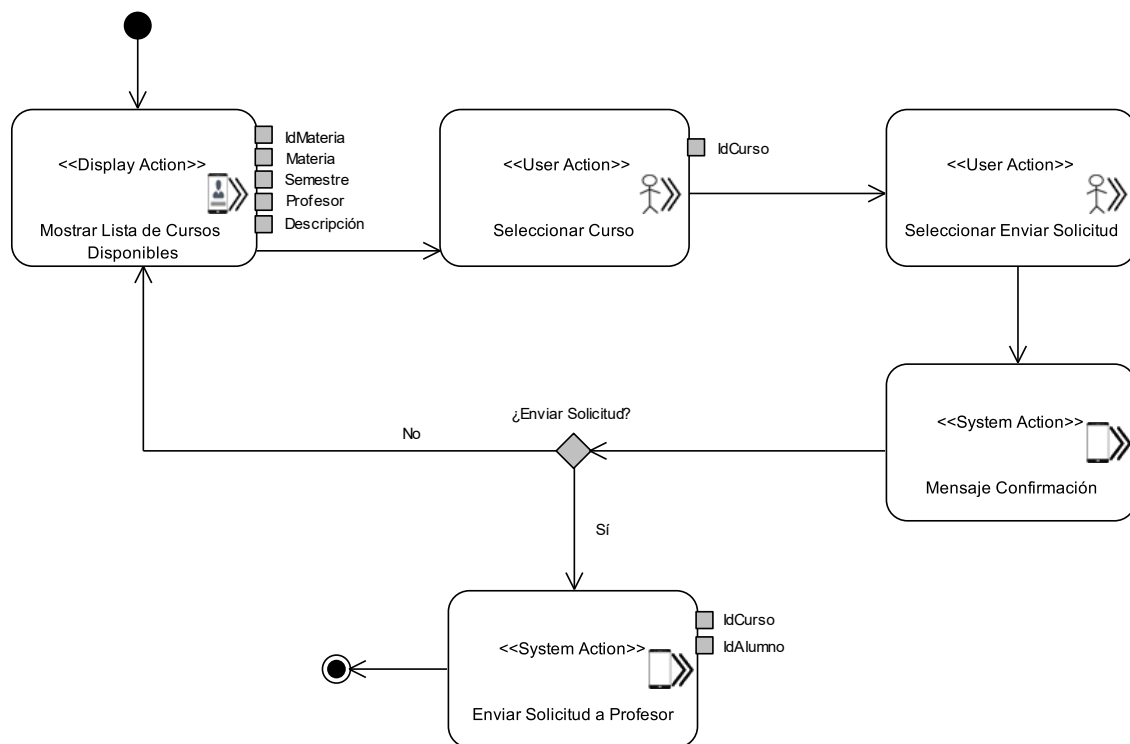


Figura 3. 76 Diagrama de proceso para el caso de uso *Enviar Solicitud*

El diagrama de proceso donde se representa el caso de uso *Responder Solicitud* se exhibe en la Figura 3.77, se aprecia que este inicia con el sistema presentando una notificación de nueva solicitud al usuario de tipo Profesor correspondiente, luego este debe desplegar el listado de solicitudes, y responder a la misma, en caso de negar la solicitud, el sistema mostrará un mensaje y pedirá confirmación para el rechazo de esta, al confirmar el proceso termina. Si el usuario acepta la solicitud, el sistema agregará al Alumno en el curso y termina el proceso.

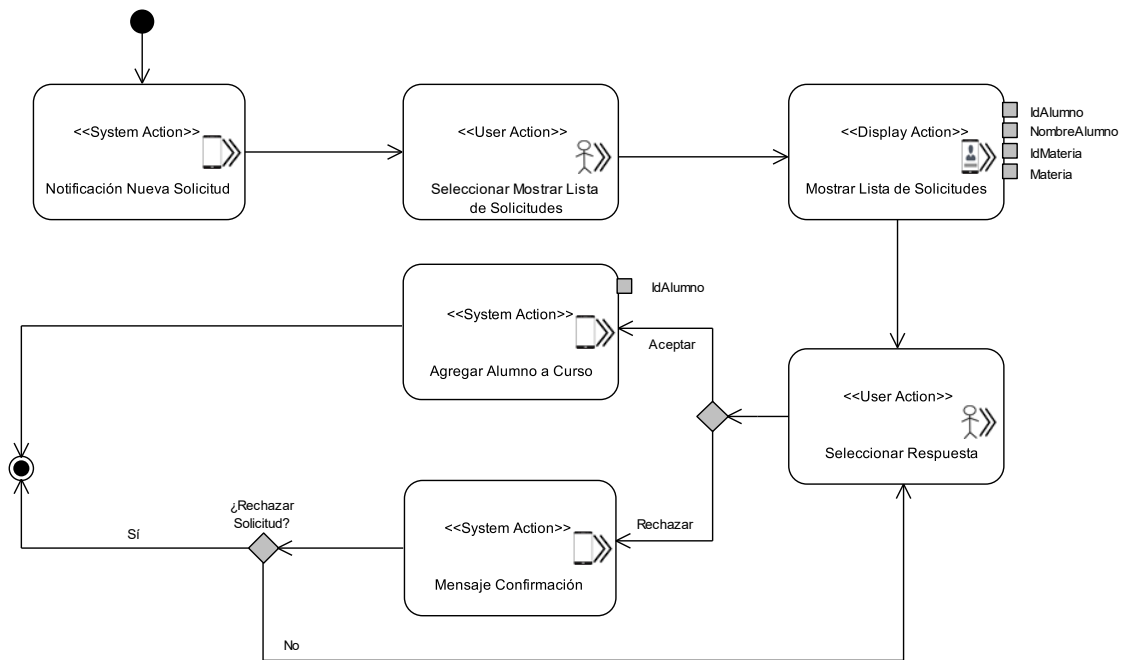


Figura 3. 77 Diagrama de proceso del caso de uso *Responder Solicitud*

El caso de uso *Cancelar Solicitud* comienza con el sistema mostrando el listado de todas las solicitudes que recibe un usuario de tipo Profesor, luego de esto, selecciona un curso y hace clic sobre la opción de *Cancelar Solicitud*, entonces el sistema enviará un mensaje y solicitará confirmación para llevar a cabo el proceso, si el usuario confirma, el sistema elimina la solicitud, y termina el proceso, en caso de no confirmar, el sistema regresa al usuario al listado inicial. Este caso se encuentra en el diagrama de proceso de la Figura 3.78.

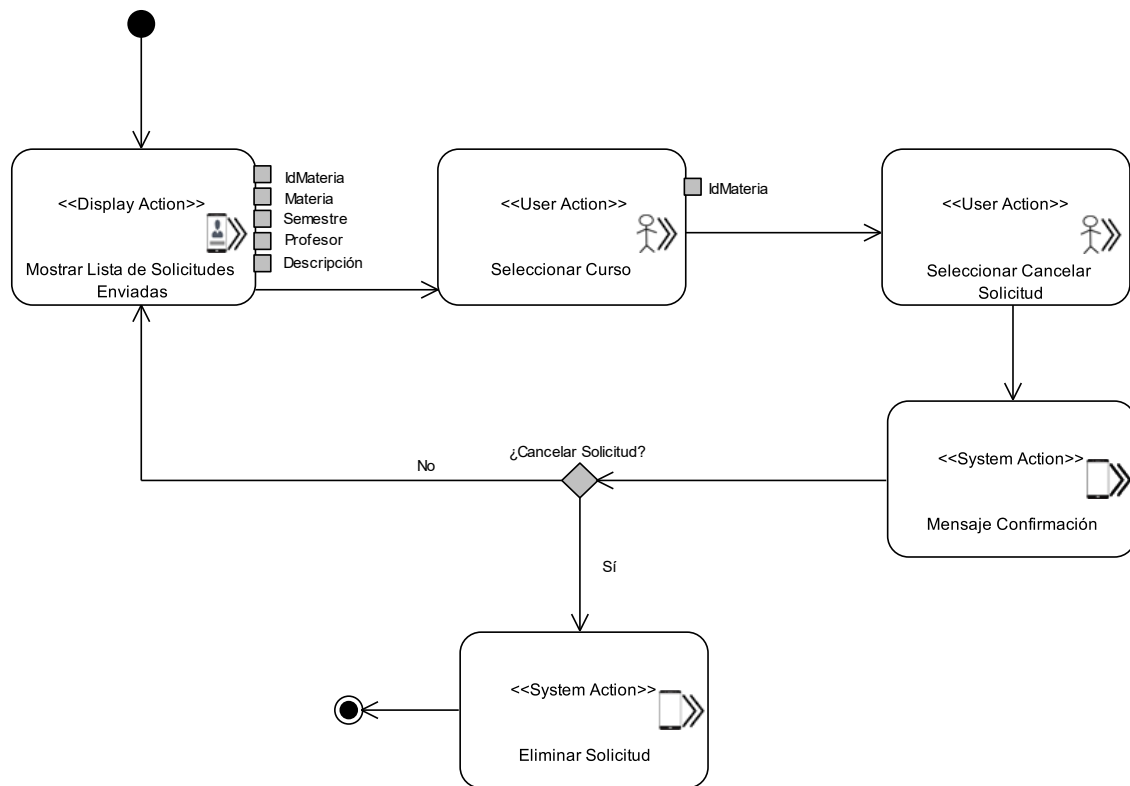


Figura 3. 78 Diagrama de proceso del caso de uso *Cancelar Solicitud*

La Figura 3.79 exhibe el diagrama de proceso relacionado con el caso de uso *Responder Examen*. El caso se inicia al presentar en la pantalla el formulario mediante el cual el usuario de tipo Alumno responderá las preguntas del examen. Luego, el sistema realiza la validación de los datos, guarda la información de la respuesta y verifica si se satisface el criterio de parada. Si dicho criterio no se cumple, el sistema revisa si la respuesta a la pregunta anterior fue acertada o incorrecta. En caso de ser acertada, selecciona una pregunta con un nivel de dificultad mayor; en caso contrario, opta por una de menor dificultad. La nueva pregunta se presenta al usuario, y el ciclo se repite hasta que se cumple el criterio de parada. Cuando esto ocurre, el sistema muestra la calificación obtenida por el usuario y se considera finalizado el proceso principal.

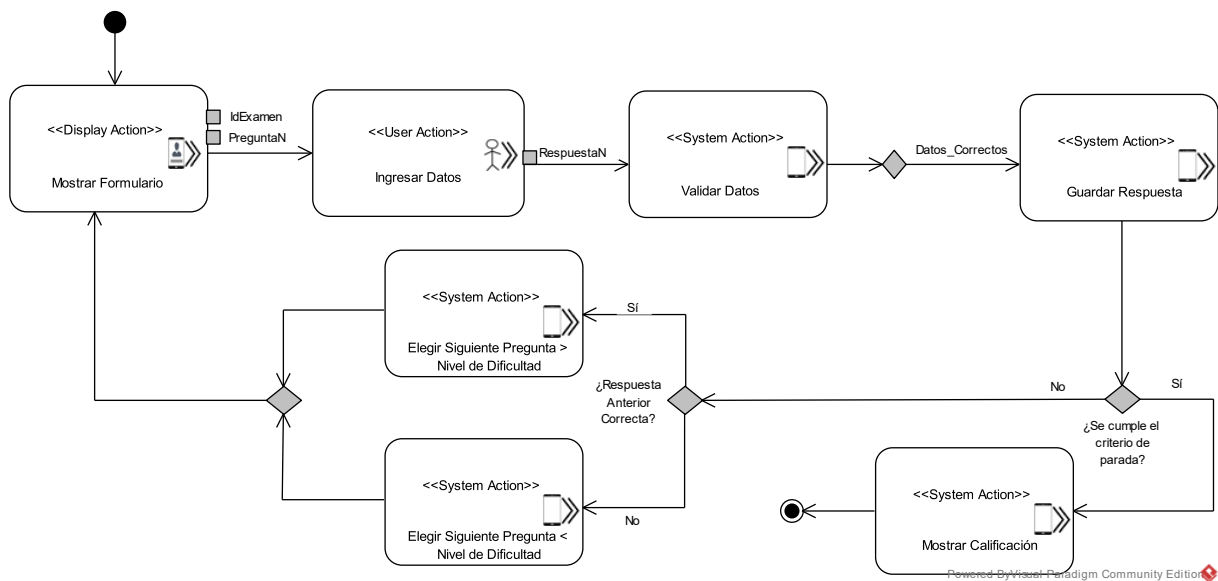


Figura 3. 79 Diagrama de proceso para el caso de uso *Responder Examen*

El diagrama de proceso para el caso de uso *Calibrar Ítems* está presentado en la Figura 3.80, este comienza con el envío del conjunto de datos de exámenes respondidos al proceso de calibración, a continuación, el sistema valida los datos, si el resultado es positivo, guarda los ítems calibrados y finaliza el proceso. En caso contrario, los datos vuelven a ser calibrados.

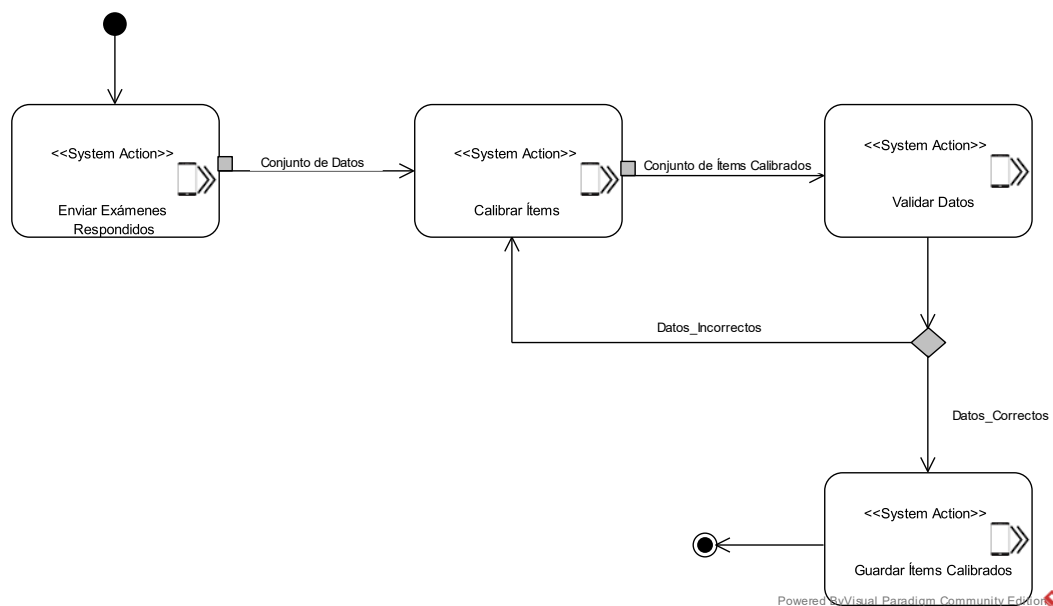


Figura 3. 80 Diagrama de proceso del caso de uso *Calibrar Ítems*

El último caso de uso *Crear Reglas de Asociación Secuenciales* inicia con la creación de un conjunto de datos que contiene las respuestas de los exámenes y la aplicación del Algoritmo TopSeqRules de SPMF, que es el encargado de generar nuevas reglas, el sistema validará los datos, en caso no tener ningún error, el sistema guardará dichas reglas, y finalizará el proceso. En caso contrario, se generarán nuevamente las reglas de asociación secuenciales. Este caso se representa en la Figura 3.81.

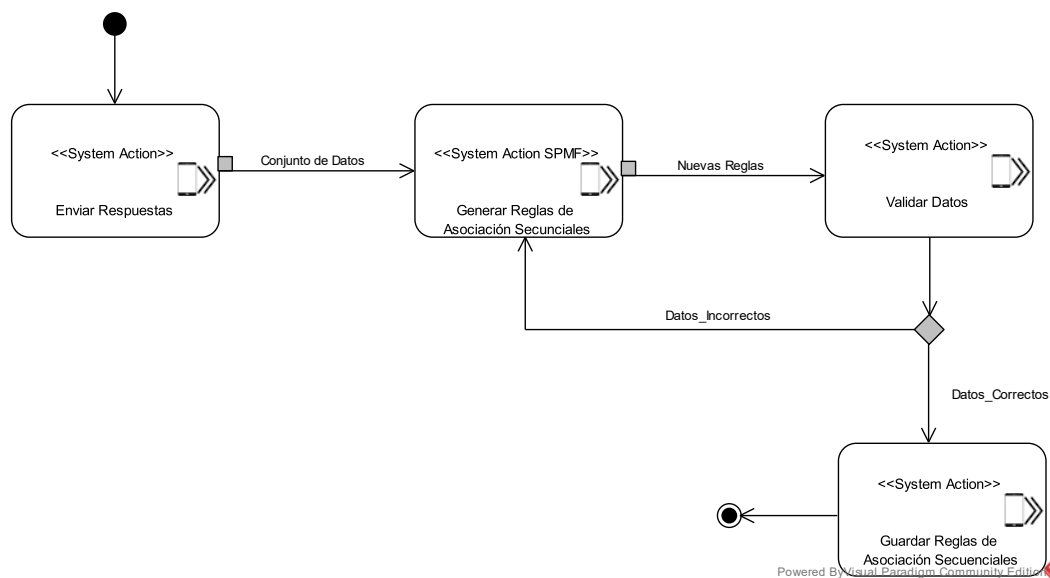


Figura 3. 81 Diagrama de proceso del caso de uso *Crear Reglas de Asociación Secuenciales*

3.4 Análisis de datos

En el trabajo de [15] se crearon tres matrices binarias, llamadas *Exauno*, *Exados* y *Exatres*, que corresponden a la información de exámenes tradicionales de las tres unidades del curso de Bases de Datos de la Maestría en Sistemas Computacionales, del Instituto Tecnológico de Orizaba, en dichas matrices las columnas representaban las preguntas y las filas a las respuestas de los estudiantes evaluados, donde una respuesta correcta corresponde a 1 y 0 a una respuesta incorrecta, sin embargo, estas no cumplen con el formato adecuado para su análisis en la herramienta SPMF, debido

a que solo acepta archivos de texto con un formato específico para su funcionamiento además que no reconoce el número cero, es por esto que se modificaron los datos eliminando las columnas, y colocando el número de la pregunta seguido de un espacio cuando se trata de una respuesta correcta y colocando el número uno negativo (-1) cuando se trata de una respuesta incorrecta, en caso de que las respuestas incorrectas fueran consecutivas, solo se coloca una vez el número uno negativo, por último, cada línea debe terminar con el numero dos negativo (-2). En la Figura 3.82 se muestra la matriz original y en la Figura 3.83 la transformación para el análisis.

ExaUno	Item1	Item2	Item3	Item4	Item5	Item6	Item7
1	0	0	1	1	1	0	1
2	0	1	1	0	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	0	1
5	0	1	1	1	1	1	1
6	1	0	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	0	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	0	1
10	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	0	1	0	1
12	1	1	1	1	1	1	1
13	1	0	1	1	1	0	1
14	0	1	1	0	1	0	1
15	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1
17	0	0	1	0	0	0	1
18	0	1	1	0	1	1	1
19	0	1	1	1	0	1	1
20	1	1	1	1	1	0	1
21	0	1	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1	0	1
23	1	1	1	0	1	0	1
24	0	1	0	0	0	1	1
25	0	1	0	0	1	1	1

Figura 3. 82 *Matriz Original*

```

3 4 5 -1 7 -1 9 -1 11 12 13 14 15 16 -1 19 20 21 -1 23 24 -1 27 28 29 30 -2
2 3 -1 5 6 7 -1 9 10 11 12 13 14 15 16 -1 18 19 20 21 -1 23 -1 26 27 28 29 30 -2
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 -1 21 -1 23 24 -1 27 28 29 -2
1 2 3 4 5 -1 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 -1 21 22 23 24 -1 26 27 28 29 -2
2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 -1 18 19 20 21 22 -1 24 -1 27 28 29 -2
1 -1 3 4 5 6 7 -1 9 10 -1 13 14 15 -1 17 18 19 20 21 -1 23 24 -1 27 28 29 30 -2
1 2 3 4 -1 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 -1 18 19 20 21 21 22 23 24 25 -1 27 28 29 30 -2
1 2 3 4 5 6 7 -1 9 -1 11 12 13 14 15 16 17 -1 19 20 21 -1 23 -1 27 28 29 -2
1 2 3 4 5 -1 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 -1 23 -1 28 29 30 -2
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 -1 26 27 28 29 30 -2
1 2 3 -1 5 -1 7 8 -1 10 11 12 13 14 15 16 -1 18 19 20 21 -1 23 24 -1 26 27 28 29 -2
1 2 3 4 5 6 7 -1 9 -1 11 12 13 14 15 16 17 -1 19 -1 21 -1 23 24 -1 27 28 29 -2
1 -1 3 4 5 -1 7 -1 9 10 11 12 13 14 15 -1 17 18 19 -1 21 -1 24 -1 27 -1 29 30 -2
2 3 -1 5 -1 7 -1 11 -1 13 14 15 16 -1 19 20 21 -1 23 24 -1 27 28 29 -2
1 2 3 4 5 6 7 8 9 -1 11 12 13 14 15 16 17 -1 19 20 21 -1 23 24 -1 28 29 -2
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 -1 19 -1 21 22 23 -1 25 26 27 28 29 30 -2
3 -1 7 -1 9 10 -1 12 13 14 15 16 -1 19 25 -1 29 -2
2 3 -1 5 6 7 -1 9 10 -1 13 14 15 -1 17 18 19 20 21 -1 24 27 28 -2
2 3 4 -1 6 7 -1 11 12 13 14 15 16 17 18 19 -1 23 24 -1 27 28 29 30 -2
1 2 3 4 5 -1 7 -1 10 11 12 13 -1 15 16 17 18 19 -1 21 -1 24 -1 26 27 -1 29 30 -2
2 3 4 5 6 7 8 -1 11 -1 13 14 15 16 -1 19 20 -1 23 24 -1 26 -1 29 -2
1 2 3 4 5 -1 7 8 9 10 11 -1 13 -1 15 16 -1 18 19 20 21 -1 24 25 -1 27 -2
1 2 3 -1 5 -1 7 -1 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 -1 21 -1 23 24 -1 27 28 29 30 -2
2 -1 6 7 -1 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 -1 24 -2
2 -1 5 6 7 -1 10 11 -1 13 14 15 -1 17 -1 19 -1 21 -1 24 -1 27 -1 29 -2

```

Figura 3. 83 *Matriz Transformada*

3.4.1 Evaluación de los algoritmos

En el análisis de trabajos relacionados se identificaron cinco algoritmos principales de minería de reglas de asociación secuenciales los cuales son: GSP (*Generalized Sequential Pattern Mining*), PrefixSpan, SPAM (*Sequential Pattern Mining*), CMRules y TopSeqRules. Se realizó un análisis comparativo de ellos con el fin de conocer sus características, ventajas y desventajas para seleccionar el mejor de ellos para integrar como método de selección de ítems en el desarrollo de un sistema de evaluación adaptativa computarizada. Para la evaluación de los cinco algoritmos estos se categorizaron en dos grupos, algoritmos de patrones secuenciales y algoritmos de reglas de asociación secuenciales, en el primer grupo se compararon GSP, PrefixSpan y SPAM mientras que para el segundo grupo CMRules y TopSeqRules. Para el caso de los tres algoritmos de patrones se comparó su valor de soporte (Minsup), ya que en todos es posible definir valores diferentes (0.4, 0.5, 0.7, 0.8), sin embargo, en el caso de PrefixSpan y SPAM también se evaluó el número de patrones que son capaces de encontrar debido a que igualmente se pueden definir valores diferentes de grupos de patrones (20, 25, 30, y 50).

En el caso de los algoritmos de reglas de asociación secuenciales se evaluaron con el valor del soporte de forma similar al caso anterior, pero con la diferencia de que estos algoritmos son capaces de definir valores diferentes de confianza (Minconf), cabe resaltar que en el caso de TopSepRules solo se pide el valor antes mencionado, no solicita el valor de soporte. Estas pruebas se llevaron a cabo en una computadora con las siguientes especificaciones: procesador Intel Core i5 de onceava generación 3.10GHz; memoria RAM de 8GB y un sistema operativo Windows de 64 bits.

3.4.2 Resultados de la evaluación de algoritmos

Primero se evaluaron los algoritmos de patrones secuenciales para cada una de las matrices, donde se observó que el algoritmo PrefixSpan fue el que obtuvo un mayor número de reglas con diferentes valores de soporte. En la Tabla 3.4 se registraron los resultados promedio de las cien ejecuciones.

Tabla 3.4 Resultados de algoritmos de patrones secuenciales.

Algoritmo	Soporte	Exauno			Exados			Exatres		
		Recuento	Memoria	Tiempo	Recuento	Memoria	Tiempo	Recuento	Memoria	Tiempo
GSP	0.4	1693	78.12299	16.2	366	38.54469	5.73	38	36.39419	0.66
	0.5	369	44.98991	6.37	119	50.40030	4.38	20	68.64079	0.13
	0.7	51	37.04010	3.37	22	73.33350	1.11	9	32.61383	0.33
	0.8	22	39.14440	1.47	15	57.83909	0.84	7	68.68680	0.08
PREFIXSPAN	0.4	6453	130.0252	25.36	5227	120.0169	16.3	152	48.13506	0.48
	0.5	1224	239.8307	10.64	1109	206.6603	4.35	76	57.91098	0.59
	0.7	93	216.2488	1.76	104	228.7633	7.22	25	55.64379	25
	0.8	36	26.03283	0.98	44	64.31933	1.26	14	56.98044	0.52
SPAM	0.4	576	71.62948	2.18	281	64.45268	2.19	108	29.31007	1.2
	0.5	149	30.28227	1.98	163	49.26724	1.73	54	47.37774	1.13

Tabla 3.4 Resultados de algoritmos de patrones secuenciales (Continuación).

Algoritmo	Soporte	Exauno			Exados			Exatres		
SPAM		Recuento	Memoria	Tiempo	Recuento	Memoria	Tiempo	Recuento	Memoria	Tiempo
	0.7	38	29.00130	1.38	31	60.68668	1.29	19	33.27017	1.3
	0.8	19	49.43869	1.25	17	65.79661	1.35	11	39.55572	0.88

En la evaluación de los algoritmos de reglas de asociación secuenciales, fue el algoritmo TopSeqRules el que obtuvo mejor resultado con diferentes valores de confianza, cabe resaltar que en el caso de la matriz *exatres* no se obtuvieron resultados con los valores 0.7 y 0.5 de confianza y soporte, respectivamente, ni con 0.8 y 0.6, los resultados promedio se registraron en la Tabla 3.5.

Tabla 3 5 Resultados de algoritmos de Reglas secuenciales

Algoritmo	Confianza	Soporte	Exauno			Exados			Exatres		
CMRULES			Reglas	Memoria	Tiempo	Reglas	Memoria	Tiempo	Reglas	Memoria	Tiempo
	0.6	0.4	261	108.8546	17.29	108	226.2459	7.757575	2	26.3761	0
	0.7	0.5	88	176.4012	10.44	24	179.4404	2.27	-	-	-
	0.8	0.6	26	229.8111	5.16	1	223.6759	0.29	-	-	-
TOPSEQRULES	0.6	-	108	26.51246	0.00126	102	73.76147	0.00057	-	-	-
	0.7	-	102	56.38199	0.00083	101	86.73663	0.001881	-	-	-
	0.8	-	39	66.44931	0.00243	69	80.07979	0.000255	-	-	-

En conclusión, se detectaron cinco algoritmos, tres en la categoría de patrones secuenciales y dos en reglas de asociación secuenciales, cada uno se evaluó y los resultados arrojaron que los algoritmos PrefixSpan y TopSeqRules fueron los que tuvieron un mejor desempeño con diferentes valores de soporte y confianza.

3.4.3 Creación de conjuntos de datos

El sistema tiene la capacidad de crear sus propios conjuntos de datos a partir de la información en la base de datos, para esto se crearon dos procedimientos en la misma, el primer procedimiento lleva por nombre *create_dataset*, este recibe como parámetro de tipo entero el identificador de un examen, después realiza una serie de consultas para saber el número de preguntas, y el número de exámenes físicos, después de esto con la información que obtiene, crea la tabla *dataset* como se observa en la línea 42 del Código 3.1 y se inserta la información de las respuestas de los exámenes físicos, donde si la respuesta es correcta, se insertará el número uno (1), en caso contrario, se insertará el número cero (0), después de insertar todas las respuestas, el procedimiento exportará la tabla a un archivo con extensión CSV, para su procesamiento con la herramienta WEKA, desde la aplicación.

```
40 SET aux = 1;
41 -- Parte que tiene la creación de la tabla
42 SET cad1 = CONCAT( "CREATE TABLE dataset_", id_exam, " (id_examen INT(2), Num_ExamenFisico INT(2))");
43 SET cad2 = ''; -- Aquí se guardan las columnas
44 SET cad6 = "SELECT ";
45
46 -- Concatena columnas
47 WHILE aux <= num_item DO
48     SET cad2 = CONCAT(cad2, ' item_',aux, ' CHAR(2)');
49
50     IF aux = num_item THEN
51         SET cad6 = CONCAT(cad6, "'item_",aux,"'");
52     ELSE
53         SET cad6 = CONCAT(cad6, "'item_",aux,"',");
54     END IF;
55     -- Aumenta contador
56     SET aux = aux + 1;
57 END WHILE;
58
59 -- Une ambas cadenas para hacer la query
60 SET squery = CONCAT(cad1,cad2,' ');
61
```

Código 3.1 Procedimiento *create_dataset*

El segundo procedimiento, lleva por nombre *create_dataset_2*, al igual que el procedimiento anterior, recibe como parámetro de tipo entero un identificador de examen, y realiza las mismas consultas para saber el número de preguntas, y el número de exámenes físicos, después de esto con la información que obtiene, crea la tabla *dataset_seq* e inserta la información de las respuestas de los exámenes físicos, respetando el formato descrito al inicio de este capítulo, exportando dicha tabla a un archivo de texto para que la herramienta SPMF lo procese. Parte de este procedimiento se observa en la Código 3.2, donde se realiza una condición que ayuda a seguir el formato deseado en las líneas 99 a 103.

```

90      WHERE id_preguntaExa = aux2
91      AND num_exafisico = aux3;
92
93      SELECT id_opcion INTO item2
94      FROM `pregunta_respuesta`
95      WHERE id_preguntaExa = aux2
96      AND Estatus = 1;
97
98
99      IF item1 = item2 THEN
100          SET response = aux2;
101      ELSE
102          SET response = "-1";
103      END IF;
104
105      SET sqry = CONCAT('UPDATE `dataset_seq`,id_exam,` SET item_',aux2,' = "',response,'" WHERE `Num_ExamenFisico` = ',aux3,');
106      PREPARE stmt2 FROM sqry;
107      EXECUTE stmt2;
108
109      SET sqry2 = CONCAT('UPDATE `dataset_seq`,id_exam,` SET termination = "-2" WHERE `Num_ExamenFisico` = ',aux3,');
110      PREPARE stmt8 FROM sqry2;
111      EXECUTE stmt8;

```

Código 3.2 Procedimiento *create_dataset_2*

3.4.4 Creación de reglas de asociación y reglas de asociación secuenciales

Para la creación de reglas de asociación y reglas de asociación secuenciales el usuario de tipo Profesor deberá estar autenticado, después dirigirse a la página de *Mis cursos* y luego a la sección de *Exámenes*, en donde debe haber por lo menos un examen registrado y este debe contar con exámenes físicos registrados, al contar con estos últimos, se activarán las opciones de *Calibrar Items*, *Crear Reglas Asociación* y *Crear Reglas Secuenciales* como se observa en la Figura 3.84.

Al hacer clic en el botón *Crear Reglas Asociación* se ejecuta el método *createReglas*. En el Código 3.3 se muestra parte del método mencionado, que invoca a otros métodos con el fin de crear el conjunto de datos necesario, esto se aprecia en la línea 7.



Figura 3. 84 Creación de reglas

```

1 private void createregla(HttpServletRequest request, HttpServletResponse response) throws SQLException, ServletException, IOException, Ex
2     String mensaje;
3     DAOOpciones dataao = new DAOOpciones();
4     examen exa = this.obtenerIDExa(request);
5     examen exa2 = dataao.obtenerPorIDExamen(exa);
6     int idExa = exa2.getIdExamen();
7     int res = dataao.createrules(idExa);
8     int enums = dataao.numExamenesF(idExa);
9     System.out.println("Respues numeros " + enums);
10
11     File CSV = new File("C:/Users/artur/Desktop/dataset_" + idExa + ".csv");
12     if (res == 0) {
13         try {
14             long time = 0;
15             long timeProm = 0;
16             CSVLoader loader = new CSVLoader();
17             loader.setSource(new File("C:/Users/artur/Desktop/dataset_" + idExa + ".csv"));
18             Instances data = loader.getDataSet();
19             data.deleteAttributeAt(0);
20             String[] options = new String[8];

```

Código 3.3 Método *createReglas*

Si no hubo ningún problema con el conjunto de datos, este se procesa usando el algoritmo Apriori de la herramienta de minería de datos WEKA, en las líneas 31 a 36, que se exhibe en el Código 3.4, si el algoritmo encuentra reglas, estas se insertan en la base de datos, cuando el proceso termina se muestra una pantalla de mensaje indicando que el proceso fue exitoso. Esto se observa en la Figura 3.85.

```

12     if (res == 0) {
13         try {
14             long time = 0;
15             long timeProm = 0;
16             CSVLoader loader = new CSVLoader();
17             loader.setSource(new File("C:/Users/artur/Desktop/dataset_" + idExa + ".csv"));
18             Instances data = loader.getDataSet();
19             data.deleteAttributeAt(0);
20             String[] options = new String[8];
21
22             options[0] = "-N";
23             options[1] = "100";
24             options[2] = "-T";
25             options[3] = "0";
26             options[4] = "-C";
27             options[5] = "0.7";
28             options[6] = "-M";
29             options[7] = "0.3";
30
31             long timeStart, timeEnd;
32             timeStart = System.currentTimeMillis();
33             Apriori rulesAp = new Apriori();
34             rulesAp.setOptions(options);
35             rulesAp.buildAssociations(data);
36             timeEnd = System.currentTimeMillis();
37

```

Código 3.4 Continuación Método *createReglas*

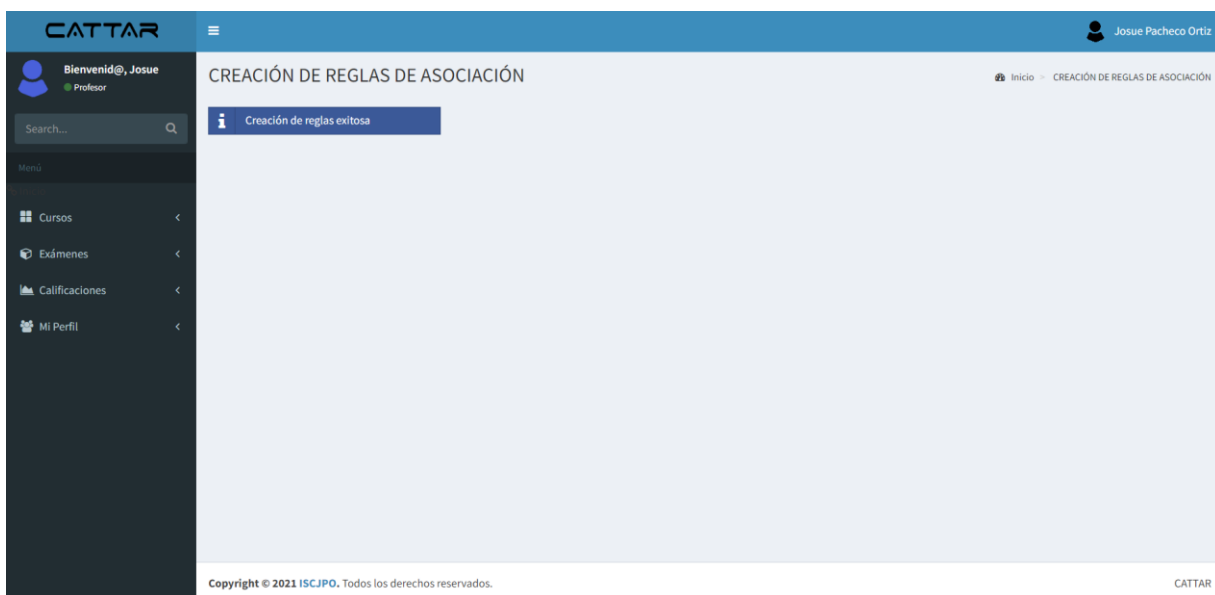


Figura 3. 85 Mensaje de creación de reglas

En el caso de las reglas de asociación secuenciales el usuario debe hacer clic en el botón *Crear Reglas Asociación Secuenciales* de la Figura 3.84 que ejecuta el método *createRulesSeq*. En el Código 3.5 se presenta parte del método mencionado, que

realiza llamado a otros métodos con el fin de crear el conjunto de datos necesario, se aprecia en la línea 125. Si no hubo ningún problema con el conjunto de datos, este se procesa usando el algoritmo TopSeqRules de la herramienta de minería de datos SPMF, como se observa en las líneas 147 a 158, mostradas en el Código 3.6. Si el algoritmo encuentra reglas, estas se escriben en un archivo de texto, que luego se lee para insertar una por una las reglas en la base de datos, cuando el proceso termina se muestra la pantalla con el mensaje de la Figura 3.85 indicando que el proceso fue exitoso.

```

119  private void createRulesSeq(HttpServletRequest request, HttpServletResponse response)
120      String mensaje;
121      DAOpciones dataao = new DAOpciones();
122      examen exa = this.obtenerIDExa(request);
123      examen exa2 = dataao.obtenerPorIdExamen(exa);
124      int idExa = exa2.getIdExamen();
125      int res = dataao.createrulesSeq(idExa);
126      int enums = dataao.numExamenesF(idExa);
127      System.out.println("Respuesta numeros " + enums);

```

Código 3.5 Método *createRulesSeq*

```

147      double sup = 0;
148      seq.loadFile(txt);
149      seq.printDatabaseStats();
150      int k = 100;
151      double conf = 0.8;
152      AlgoTopSeqRules topseq = new AlgoTopSeqRules();
153      topseq.setMaxAntecedentSize(2);
154      topseq.setMaxConsequentSize(1);
155      RedBlackTree<ca.pfv.spmf.algorithms.sequential_rules.topseqrules_and_tns.Rule> rules
156      |      = topseq.runAlgorithm(k, seq, conf);
157      topseq.printStats();
158      topseq.writeResultToFile(result);

```

Código 3.6 Continuación Método *createRulesSeq*

3.4.5 Algoritmo

El Algoritmo 1 muestra el proceso que se lleva a cabo como método de selección de ítems que fue presentado en [68], básicamente el algoritmo presenta cuatro casos diferentes: 1) el alumno da una respuesta correcta y se buscan reglas de asociación;

2) el alumno da una respuesta incorrecta y se buscan reglas; 3) se tiene una respuesta correcta, pero no se encuentran reglas, y 4) se trata a cerca de obtener una respuesta incorrecta y que no se encuentren reglas.

Antes de empezar con la descripción de los casos, es importante resaltar que, para su correcto funcionamiento, el algoritmo debe recibir una lista de las preguntas que se tienen disponibles ordenadas de menor a mayor nivel de dificultad que recibe el nombre de lista de *ítems disponibles*. Un ejemplo sencillo de esta se encuentra en la Figura 3.86.



Figura 3. 86 *ítems disponibles*

El primer caso inicia cuando el método de selección de ítems recibe una respuesta correcta, al hacer esto, se obtendrá el índice de dicha pregunta en la lista antes mencionada, y se realiza la búsqueda de reglas desde esa posición hacia el final de la lista por que al estar ordenada de menor a mayor todas las preguntas delante de la actual son de un nivel de dificultad superior, se usa el identificador de la pregunta actual como antecedente y los identificadores de las demás preguntas como consecuente, tomando en cuenta solo las preguntas que aún no se presentan. Cada regla que se encuentre se almacena en otra lista nombrada *Reglas encontradas* como se visualiza en la Figura 3.87. Las reglas de la lista se comparan hasta encontrar la que tenga los mejores valores de confianza y soporte, para después presentar su consecuente al usuario.

Reglas encontradas	
1	2

Figura 3. 87 *Lista de Reglas encontradas*

El caso número dos inicia cuando el método de selección de ítems recibe una respuesta incorrecta, al hacer esto, se obtendrá el índice de dicha pregunta en la lista antes mencionada, y se realiza la búsqueda de reglas desde esa posición hacia el inicio de la lista por que al estar ordenada de menor a mayor todas las preguntas detrás de la actual son de un nivel de dificultad menor, se usa el identificador de la pregunta actual como antecedente y los identificadores de las demás preguntas como consecuente, tomando en cuenta solo las preguntas que aún no se presentan. Cada regla que se encuentre también se almacena en otra lista nombrada *Reglas encontradas* como se visualiza en la Figura 3.88. Las reglas de la lista se comparan hasta encontrar la que tenga los mejores valores de confianza y soporte, para después presentar su consecuente al usuario.

Reglas encontradas	
3	4

Figura 3. 88 *Lista Reglas encontradas caso negativo*

El caso número tres inicia cuando el método recibe una respuesta correcta y después de la búsqueda de reglas no se encuentra ninguna, entonces se evalúa si la pregunta anterior fue la que tiene la mayor dificultad de todas, en caso de que no sea así, se muestra al usuario la más difícil, en caso contrario, se toma una pregunta con mayor dificultad dentro de los ítems disponibles como se muestra en la Figura 3.89. En el ejemplo, se seleccionaría la pregunta 2, considerando que la anterior fue la 5 con una dificultad media y que no se ha presentado la más difícil.

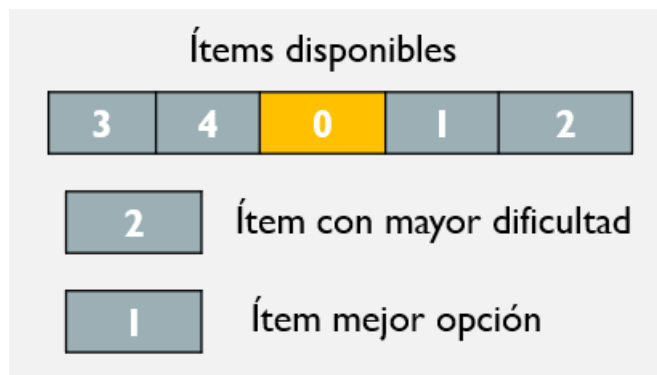


Figura 3. 89 Respuesta correcta si no se encuentran reglas

El caso número cuatro inicia cuando el método recibe una respuesta incorrecta y después de la búsqueda de reglas no se encuentra ninguna, entonces se debe evaluar si la pregunta anterior fue la que tiene la menor dificultad de todas, en caso de no sea así, entonces se muestra la siguiente pregunta con menor dificultad que el ítem presentado al usuario, en caso contrario se elige la pregunta más difícil dentro de los ítems disponibles como se muestra en la Figura 3.90. En este caso, se seleccionaría la pregunta 4 porque la pregunta anterior fue la 5.

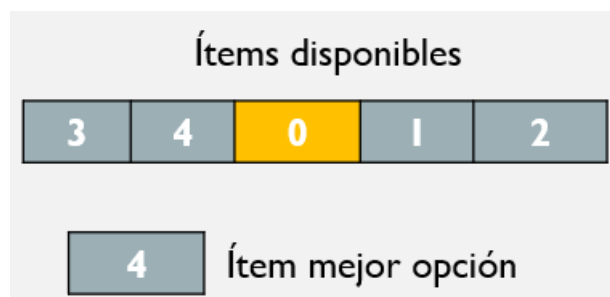
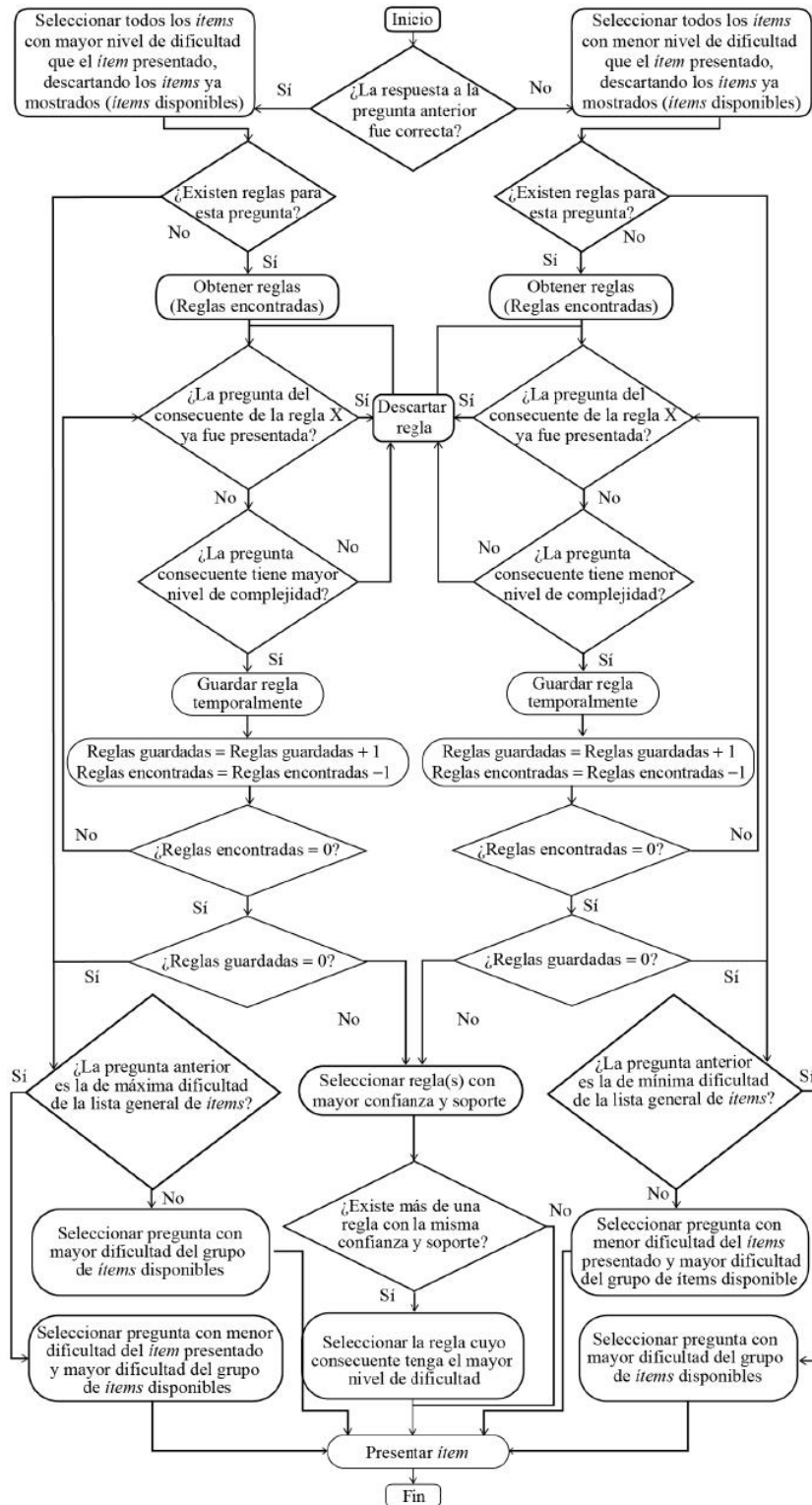


Figura 3. 90 Respuesta incorrecta si no se encuentran reglas



Algoritmo 1 Método de selección de ítems

3.4.6 Método de selección de ítems

El método de selección de ítems es un proceso que realiza el sistema de forma interna, cuando el usuario de tipo Alumno realiza la acción de responder un examen, para esto debe estar autenticado, después dirigirse a la página de *Mis Cursos* y luego a la sección de *Ver Exámenes*, inmediatamente se enlistan los exámenes disponibles a responder por parte del Alumno como se ve en la Figura 3.91.

Id Examen	Id Curso	Materia	Unidad	Opciones
1	1	Bases de Datos	1	Responder Examen
2	1	Bases de Datos	2	Responder Examen
3	1	Bases de Datos	3	Responder Examen

Figura 3. 91 *Página Ver Exámenes*

El alumno debe hacer clic en la opción Responder Examen, al hacer esto, se muestra la página de información del examen, se exhibe el nombre del alumno, la materia y la unidad a la que pertenece el mismo, es ahí donde comienza el examen con el llamado del método *siguientepreg* que es el encargado de seleccionar las preguntas con base en las reglas de asociación secuenciales siguiendo el algoritmo descrito anteriormente, parte de este se observa en el Código 3.7.

```

1 private void siguientePreg(HttpServletRequest request, HttpServletResponse response) throws Exception {
2     DAOpciones dao = new DAOpciones();
3     examen examen;
4     examen ex;
5     examen aa;
6     examen bb;
7     examen cc;
8     examen dd;
9     examen opcionCorrecta;
10    examen pre;
11    examen pre2 = null;
12    examen op;
13    ArrayList<Integer> itemsDis;
14    ArrayList<reglaA> reglasE = new ArrayList<reglaA>();
15    reglaA regla = new reglaA();
16    Respuestas respuesta = new Respuestas();
17    Calificacion score = new Calificacion();
18    Calendar fecha = Calendar.getInstance();

```

Código 3 7 Método de selección de ítems

Al principio del método este consulta datos importantes del formulario de examen, como el identificador del mismo, el de la pregunta presentada, el de la respuesta correcta a esta, la puntuación inicial de 100 y una de las partes más importantes que es la lista de identificadores de los ítems disponibles como se aprecia en las línea 30 a 47 del Código 3.8.

```

28     int numRes;
29     try {
30         ex = this.obtenerIdExamen2(request);
31         pre = this.obtenerIdPre(request);
32         opcionCorrecta = dao.OpcionCorrecta(pre);
33         op = this.obtenerIdOpcionElegida(request);
34         int np = this.NumeroPregunta(request);
35         System.out.println("##### NP ##### " + np);
36         int pp = this.PreguntasParada(request);
37         itemsDis = this.optenerItemDisp(request);
38         id_contenido = dao.consultarIdContenido(ex.getIdExamen(), pre.getIdPrimeraPregunta());
39         calificacion = this.obtenerCalificacion(request);
40         resta = 100 / pp;
41         System.out.println("RESTA " + resta);
42         System.out.println("CALIFICACIONNNNNNNNNNNNN " + calificacion);
43         respuesta.setId_pregunta(pre.getIdPrimeraPregunta());
44         respuesta.setId_respuesta(op.getIdPrimeraPregunta());
45         respuesta.setId_alumno(pre.getIdCurso());
46         respuesta.setId_contenido(id_contenido);
47         dao.insertaResp(respuesta);
48         if (np == pp) {
49             System.out.println("Hola si son iguales el examen debe terminar " + "la calificaci
50             score.setId_examen(ex.getIdExamen());
51             score.setId_alumno(pre.getIdCurso());
52             score.setCalificacion(calificacion);
53
54             dao.insertarCalificacion(score);
55

```

Código 3.8 Consulta de datos método de selección de ítems

Después de esto independientemente de si la respuesta es correcta o incorrecta, se guarda en la base de datos, luego en la línea 48 del código anterior se evalúa la primera condición, que se trata de si se cumple o no con el criterio de parada, si no se cumple, entra la segunda condición en la línea 66 del Código 3.9. Esta es si la repuesta es correcta o incorrecta, en caso de ser correcta, se obtiene el índice de esta dentro de la lista de ítems disponibles y se guarda en la variable *inicio*, para buscar una regla con mejores valores de soporte y confianza a partir de ese índice hasta el final de la lista siempre y cuando no se haya mostrado ya al usuario como se observa en la línea 80. Esta regla debe tener como antecedente el identificador de la pregunta actual, y su consecuente será la pregunta para mostrar. Si el índice en la variable *inicio* es igual al de la pregunta con mayor dificultad, dicha variable tomara valor de 0 para buscar desde el primer ítem hasta el último de la lista que no haya sido mostrado. En el caso de que no se encuentren reglas, tal y como se describió en el Algoritmo 1, se selecciona la pregunta con mayor dificultad si no fue la última en presentarse o la anterior a la última si se acaba de contestar la más difícil y se muestra la pregunta.

```

66         if (opcionCorrecta.getUnidad() == op.getIdPrimeraPregunta()) {
67             inicio = itemsDis.indexOf(pre.getIdPrimeraPregunta());
68             fin = itemsDis.size();
69             System.out.println("inicio " + inicio + " valor de inicio " + itemsDis.get(inicio) + " " + "final " + fin);
70             System.out.println("la respuesta es correcta ");
71             System.out.println("NP RESPUESTA CORRECTA " + np);
72             System.out.println("examen " + ex.getIdExamen());
73             System.out.println("pregunta actual " + pre.getIdPrimeraPregunta());
74             if (pre.getIdPrimeraPregunta() == itemsDis.get(itemsDis.size() - 1)) {
75                 inicio = 0;
76                 System.out.println("HOLA INICIO SE VOLVIO CERO");
77             }
78             for (int i = inicio; i < fin; i++) {
79                 if (itemsDis.get(i) != 0) {
80                     reglasE = dao.reglasEncontradas(pre, 1, itemsDis.get(i), reglasE);
81                 }
82             }

```

Código 3.9 Condición de las respuestas

En caso de que la respuesta del evaluado sea incorrecta, todo el proceso va a la inversa, las reglas se buscarán desde el índice actual hasta el principio de la lista, o desde el final hasta el comienzo, también en este caso a la puntuación de 100 se le restarán puntos según el número de preguntas de parada entre dicha puntuación para

obtener la calificación final como se muestra en la línea 216 del Código 3.10. Siempre que se muestra una pregunta, su identificador cambia a 0 en la lista de ítems disponibles para ser excluido de la búsqueda de reglas en cualquiera de los dos casos como se exhibe en el código anterior de las líneas 210 a 215.

Al cumplir con el número de preguntas de parada el sistema guardará la calificación obtenida por el usuario, su identificador (Código 3.11, líneas 49 a 54) y el del examen en la base datos e irá a la página de mensaje mostrando la calificación final y terminado todo el proceso.

```

206         System.out.println("id item sin regla respuesta incorrecta " + idItem);
207     }
208     numRes = dao.consultarNumRespuestas(pre.getIdExamen(), idItem);
209     System.out.println("NUMERO DE RESPUESTAS CASO INCORRECTO " + numRes);
210     for (int i = 0; i < itemsDis.size(); i++) {
211         if (itemsDis.get(i) == pre.getIdPrimeraPregunta()) {
212             System.out.println("item disponible " + itemsDis.get(i) + " " + "item presentado " +
213                 itemsDis.set(i, 0);
214         }
215     }
216     calificacion = calificacion - resta;
217     pre2 = new examen();
218     pre2.setIdPrimeraPregunta(idItem);
219     pre2.setIdExamen(ex.getIdExamen());
220     examen = dao.PresentarItem(pre2, np, calificacion);

```

Código 3.10 Calculo de calificación

```

48     if (np == pp) {
49         System.out.println("Hola si son iguales el examen debe terminar " + "la calificacion final fue " + calificacion);
50         score.setId_examen(ex.getIdExamen());
51         score.setId_alumno(pre.getIdCurso());
52         score.setCalificacion(calificacion);
53
54         dao.insertarCalificacion(score);
55
56         mensaje = "El examen ha termiando";
57         request.setAttribute("calificacion", calificacion);
58         request.setAttribute("mensaje", mensaje);
59         request.setAttribute("ex", ex);
60
61         request.getRequestDispatcher("terminarExamen.jsp").forward(request, response);

```

Código 3.11 Cambio a pantalla de término de examen

Capítulo 4. Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos con el desarrollo de este trabajo de tesis, incluyendo los resultados del análisis que se realizó en el capítulo anterior y la descripción del funcionamiento del sistema *CATTAR* (*Computerized Adaptive Testing with Association Rules*, Evaluación Adaptativa Computarizada con Reglas de Asociación).

4.1 Resultados del análisis

En esta sección se muestran los resultados el análisis realizado a 38 artículos con la metodología y los criterios de selección expuestos en el Capítulo 3, iniciando con la Figura 4.1 que exhibe la distribución de los artículos por año de publicación entre 2017 y 2022. Se señala que la mayor cantidad de artículos se publicó en 2018, abordando diversas problemáticas, Por ejemplo, [41] trató la extracción de características semánticas en preguntas de enseñanza de inglés, [43] propuso un enfoque híbrido para recomendación personalizada de recursos educativos, en [46] se presentó un estudio de causas del mal aprendizaje autorregulado, y [57] analizó la falta de estrategias para implementarlo. Además, [53] abordó la falta de métodos de aprendizaje efectivos en estudiantes de programación, mientras que [55] trató la correcta recomendación de recursos educativos, al igual que [56] sobre monitoreo metacognitivo para recomendación de cursos. Finalmente, [24] recomendó un modelo y arquitectura de sistema para visualización de videos educativos.

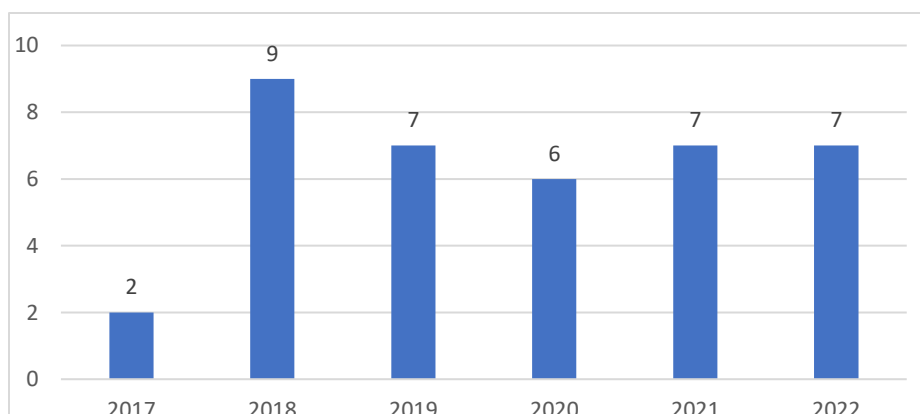


Figura 4. 1 Artículos por año de publicación

La Figura 4.2 muestra la cantidad de artículos obtenidos de cada editorial, destacando Springer y Elsevier con la mayor cantidad. Dentro de los trabajos relevantes están [39], [41], [46] y [66], enfocados en STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas). El resto se centraron en áreas como sociales [40] o biología [56], aunque algunos como [22], [38] y [65] de Elsevier no especificaron su área. En Springer, [54] propuso nuevos algoritmos para extracción de patrones secuenciales, similar a [48], y ambos junto con [67] usaron SPMF para minería de datos. Por otro lado, [45] y [52] se enfocaron en entornos de aprendizaje, mientras que otros como [46], [57] en aprendizaje autorregulado y [55] en recomendación de recursos.

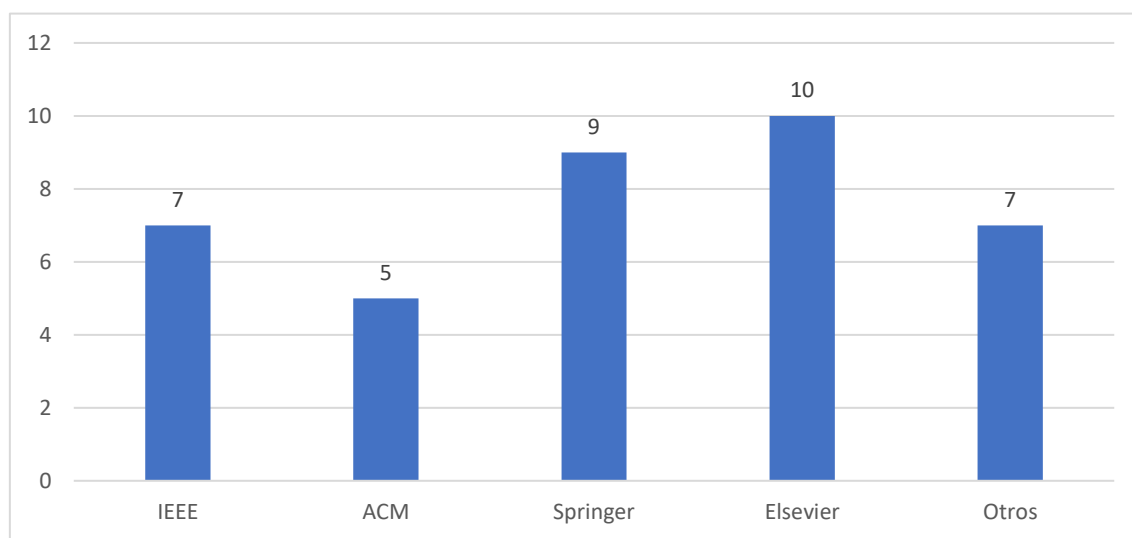


Figura 4.2 Artículos por editorial

Para la clasificación siguiente se identificaron siete temáticas de problemas abordados en los trabajos relacionados. Destaca el tema de predicción de comportamiento, con la mayor cantidad de artículos. Los resultados de las otras temáticas se muestran en la Figura 4.3.

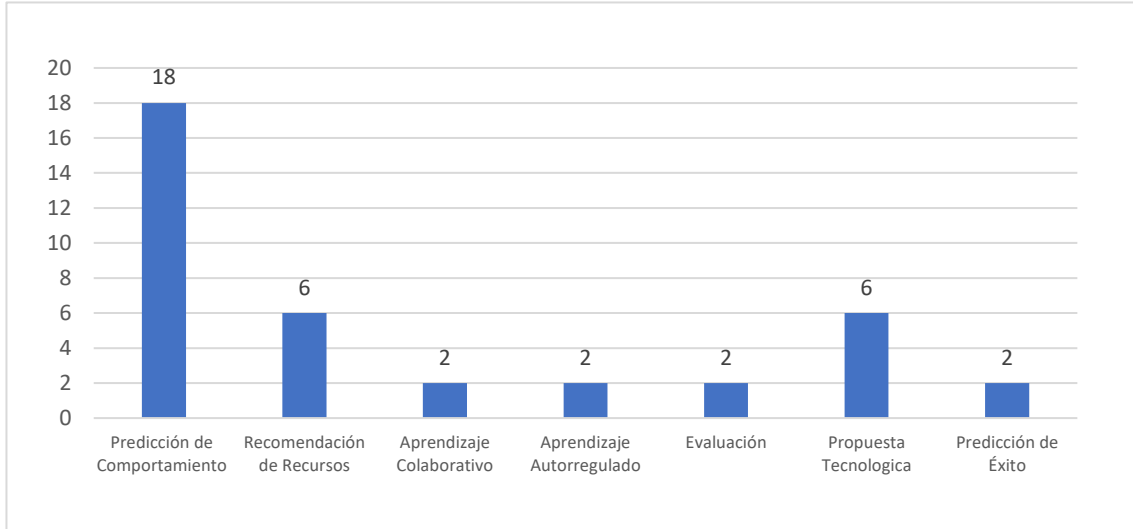


Figura 4. 3 Grafica de problemas abordados

Se realizó un análisis sobre si los conjuntos de datos utilizados en los trabajos relacionados eran sintéticos o reales. El 74% describe la procedencia de sus conjuntos, siendo catalogados como reales, mientras que el 27% no menciona ninguna descripción. Además, se analizó si los conjuntos reales estaban disponibles para descarga, encontrando que solo los de [38] , [54] y [66] son públicos. Estos resultados se muestran en la Figura 4.4.

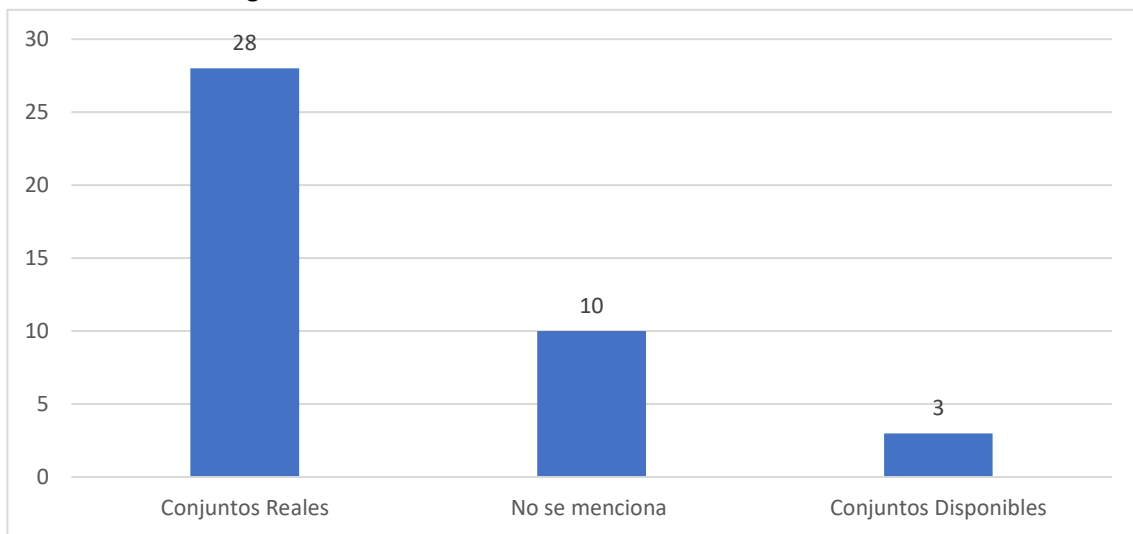


Figura 4. 4 Tipos de conjuntos

Se hizo un análisis sobre las áreas de estudio consideradas en cada trabajo, obteniendo los resultados mostrados en la Figura 4.5 Es relevante mencionar que se diferenció programación de informática, ya que en esta última se incluyeron áreas como modelado de sistemas y diseño de bases de datos.

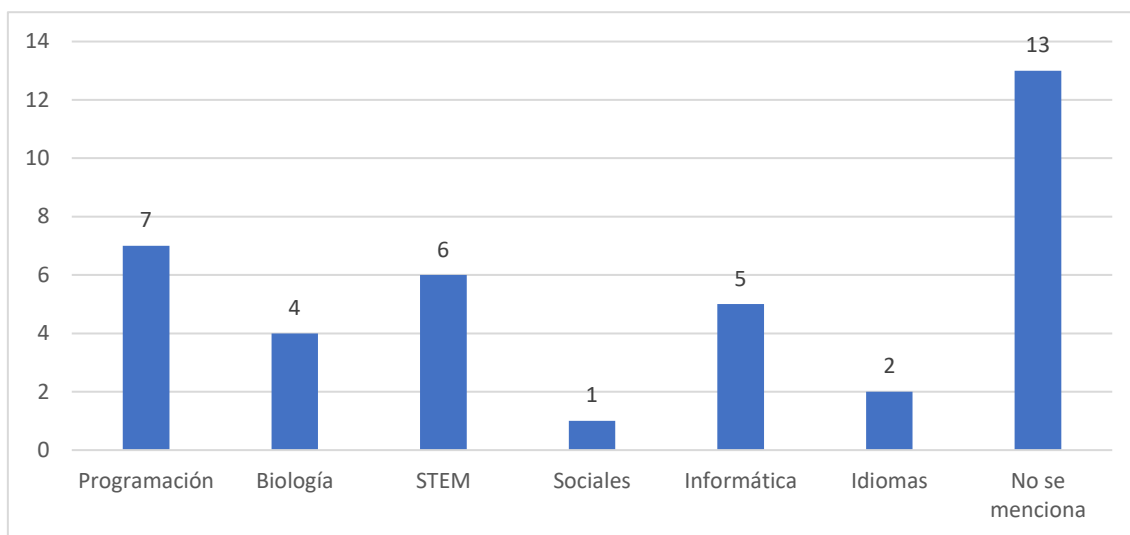


Figura 4. 5 Áreas de estudio

En este criterio se observó el nivel de estudios de los participantes de cada conjunto de datos identificado en los trabajos relacionados. Cabe resaltar que hubo conjuntos con datos de dos niveles, como en el caso de [39] que analizó datos de participantes de secundaria y superior. También destaca el trabajo [50] que fue el único que usó datos de participantes de primaria.

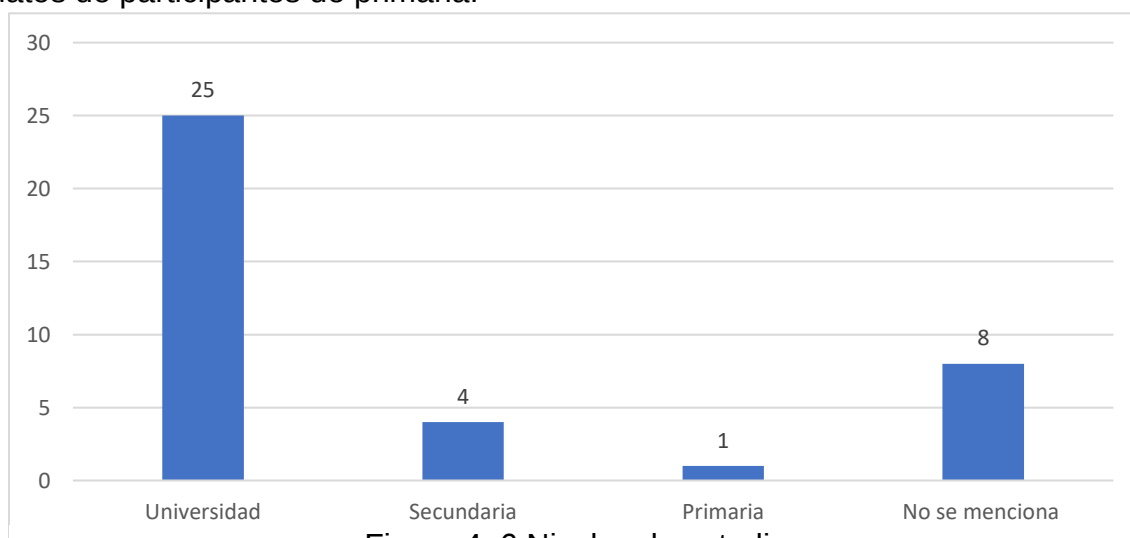


Figura 4. 6 Niveles de estudio

En la Figura 4.7 se observa la cantidad de algoritmos utilizados para minería de patrones secuenciales en los trabajos relacionados. Es importante mencionar que algunos trabajos usaron más de un algoritmo, como [38] que utilizaron PrefixSpan y Topseq, y [29] que usaron GSP, PrefixSpan y CMRules.

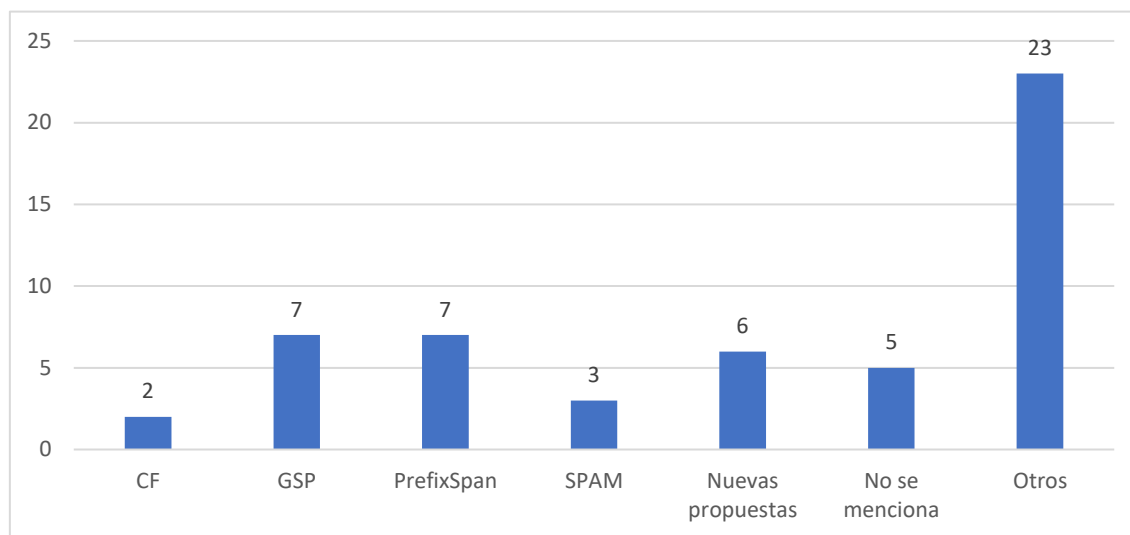


Figura 4. 7 Algoritmos

La Figura 4.8 muestra las tecnologías utilizadas en los trabajos relacionados. Sin embargo, la mayoría no mencionan esta información, por lo que se observan pocas en los resultados. Destaca el uso de los lenguajes de programación Java en [51] y [58], Python en [53] , [25] y [29]. También se mencionan las herramientas de minería de datos WEKA en [50] y [51], Sequential Pattern Mining Framework (SPMF) en [53], [67], y finalmente la herramienta Apache Spark MLLib.

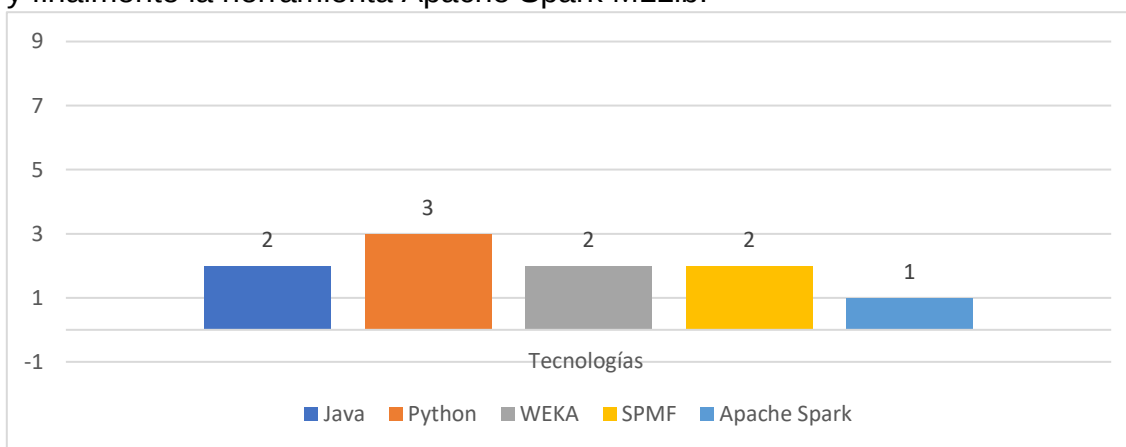


Figura 4. 8 Tecnologías

4.2 Sistema de Evaluación Adaptativa Computarizada Basada en Reglas de Asociación Secuenciales

Al ingresar al sistema *CATTAR* se muestra la pantalla de inicio, que es el recibimiento para los tipos de usuario que existen que son Profesor y Alumno. Únicamente cuenta con el botón de inicio como se visualiza en la Figura 4.9. Al hacer clic sobre el mismo, se presenta la *Página de Inicio de Sesión* que tiene la función de autorizar el ingreso de los usuarios. Esta se observa en la Figura 4.10, donde además de autenticarse se tienen diferentes opciones como *Recuperar Contraseña* y *Registrarse*.

La *Página de Inicio de Sesión* es la puerta de entrada al sistema. Permite controlar qué usuarios son capaces de ingresar dependiendo de si son Profesor o Alumno. Cada uno tendrá permisos y funciones distintas dentro del sistema. La opción de *Recuperar Contraseña* da flexibilidad en caso de que el usuario olvide sus credenciales. Y registrarse permite crear una nueva cuenta de usuario.



Figura 4. 9 Pantalla de Inicio

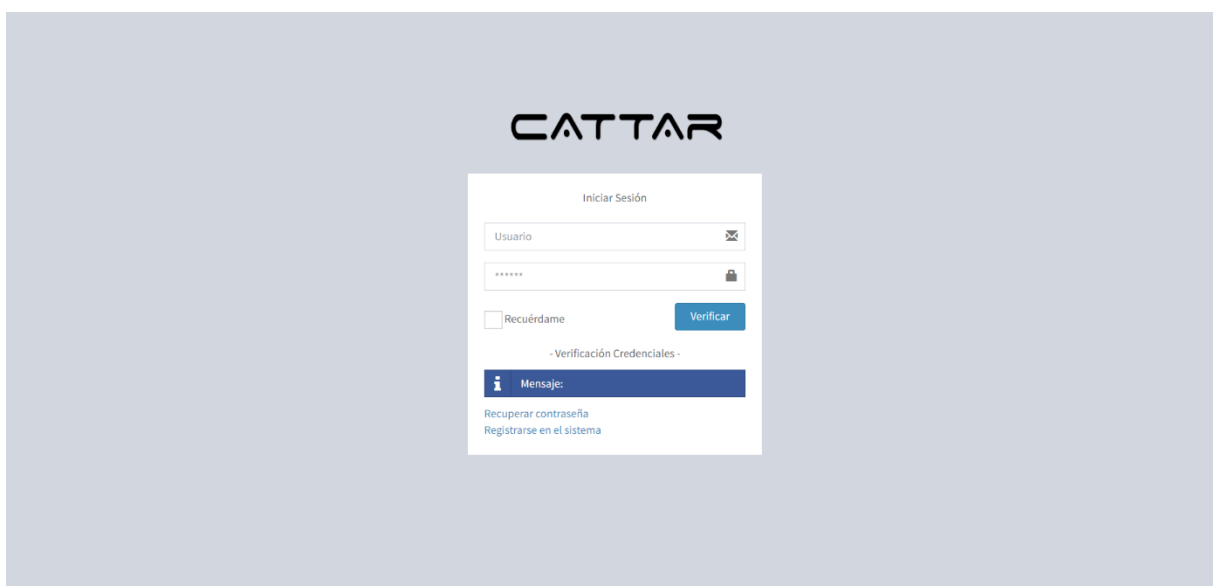


Figura 4. 10 Página de Inicio de Sesión

Cuando el usuario de tipo Profesor ingresa al sistema se muestra su nombre, su tipo de usuario, una barra de búsqueda y el menú de opciones del lado izquierdo para la creación de reglas. Debe ir a la *Página Mis Cursos* en donde se enlistan todos los cursos registrados esto se ve en la Figura 4.11. El profesor tiene control total sobre los cursos que crea; tiene las opciones de *Editar* o *Eliminar* según considere. También es capaz de hacer clic en la opción de *Ver Solicitudes* para listar las de los Alumnos que desean inscribirse a sus cursos. y *Ver Exámenes*. Cuando se hace clic sobre esta última se presenta la *Página de Exámenes* de la Figura 3.86. En esta página se tienen las opciones de *Calibrar Ítems*, *Crear Reglas Asociación*, y *Crear Reglas Secuenciales*, de colores verde, azul y rojo, respectivamente para cada examen, es importante mencionar que dichas opciones solo estarán visibles siempre y cuando el examen tenga exámenes físicos registrados. Cuando se hace clic en alguna de las opciones de creación de reglas, se ejecuta el proceso descrito en el Capítulo 3, y para terminar la creación de reglas se muestra la Figura 3.87.

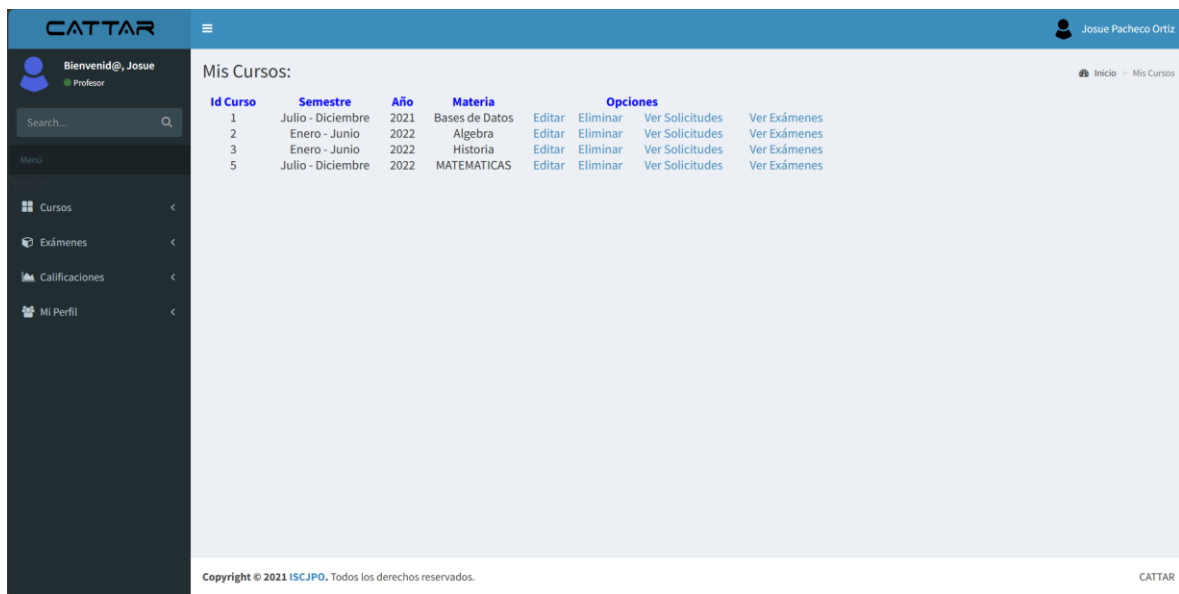


Figura 4. 11 Página de Mis Cursos Profesor

Cuando los usuarios de tipo Alumno se autentican, la página es igual que la del usuario Profesor, con el único cambio de que se muestra el tipo de usuario antes mencionado. Para comenzar con la resolución de un examen el Alumno debe hacer clic en la sección de Cursos y luego en la subsección *Mis Cursos* donde se listan todos los cursos del estudiante y el identificador de la solicitud, el nombre de la materia, estatus de solicitud, y la opción de *Ver Exámenes* para cada uno de ellos, esto se aprecia en la Figura 4.12.

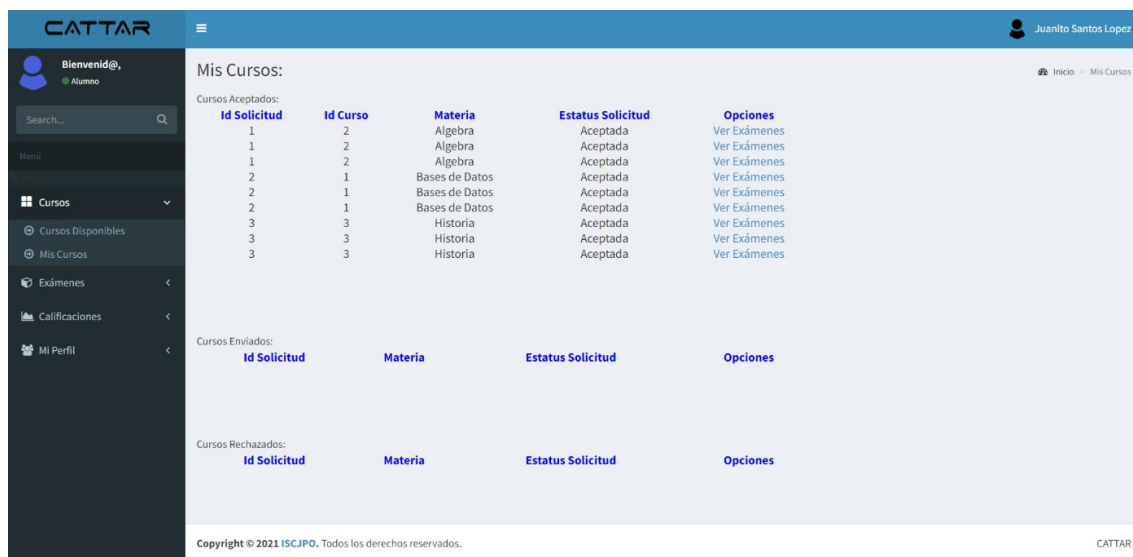


Figura 4. 12 Página de Mis Cursos Alumno

Al hacer clic en la última opción mencionada de alguno de los cursos que se muestran listados se presentan los exámenes disponibles para responder con su identificador, el del curso al que pertenece, nombre de la materia, la unidad y la única opción de *Responder Examen* como se observa en la Figura 4.13.



Figura 4. 13 Página Exámenes Alumno

Antes de proceder con la resolución del examen, se presenta en pantalla información de este, como se observa en la Figura 4.14, incluye el nombre del alumno, la materia y la unidad correspondiente al examen. Es importante destacar que en este punto se implementa un método de ordenamiento diseñado para seleccionar una pregunta con un nivel de dificultad considerado medio. Esta pregunta se elige estratégicamente para ser presentada al usuario como la primera a abordar durante la evaluación. Este proceso proporciona una introducción equilibrada al examen, también busca crear una experiencia de evaluación inicial que permita nivelar al estudiante para enfrentar un desafío de nivel medio antes de abordar preguntas de mayor o menor complejidad y así eliminar el problema del inicio en frío, este problema es común en exámenes de este tipo debido a que no se tiene información de los alumnos antes de presentar un examen. Cuando el usuario está seguro del iniciar la evaluación, hace clic en el botón *Iniciar examen*.

The screenshot shows the CATTAR web application interface. At the top, there is a blue header with the CATTAR logo on the left and a user profile 'Juanito Santos Lopez' on the right. A dark sidebar on the left contains a 'Bienvenid@, Alumno' greeting and a menu with options: 'Cursos', 'Exámenes', 'Calificaciones', and 'Mi Perfil'. The main content area has a light blue background. It starts with the instruction 'Haga clic en iniciar para presentar el examen seleccionado.' Below this are three input fields: 'Alumno:' with the value 'Juanito Santos Lopez', 'Materia:' with the value 'Base de datos', and 'Unidad:' with the value '1'. A prominent blue button labeled 'Iniciar Examen' is positioned below these fields. In the top right corner of the main area, there are links for 'Inicio' and 'Examen'. At the bottom of the page, a small copyright notice reads 'Copyright © 2021 ISCJPO. Todos los derechos reservados.' and the CATTAR logo is in the bottom right corner.

Figura 4. 14 Página Información de Examen

En la Figura 4.15, se presenta la *Página Formulario* diseñada específicamente para facilitar la respuesta al examen. En esta página, la pregunta en cuestión se visualiza en primer plano, destacando su relevancia y permitiendo que el Alumno la lea detenidamente antes de abordar las opciones de respuesta. Es importante destacar que el diseño del sistema impide la navegación entre las preguntas, garantizando que el estudiante se concentre en cada ítem de manera individual. Esta restricción se implementó con el propósito de mantener la integridad y coherencia del proceso de evaluación, evitando posibles confusiones o interrupciones que podrían surgir al permitir la libre navegación entre las preguntas. Además, las preguntas están diseñadas para ser de respuesta múltiple y verdadero o falso, también en la parte inferior después de las opciones de respuesta la página está presentado el número de pregunta en que se encuentra el examen y el número de preguntas que debe alcanzar el alumno para terminar el examen, por último, en la pantalla se muestra el botón de *Siguiente* que es el encargado de ejecutar el método de selección de ítems, todo esto se observa en la Figura 4.15.

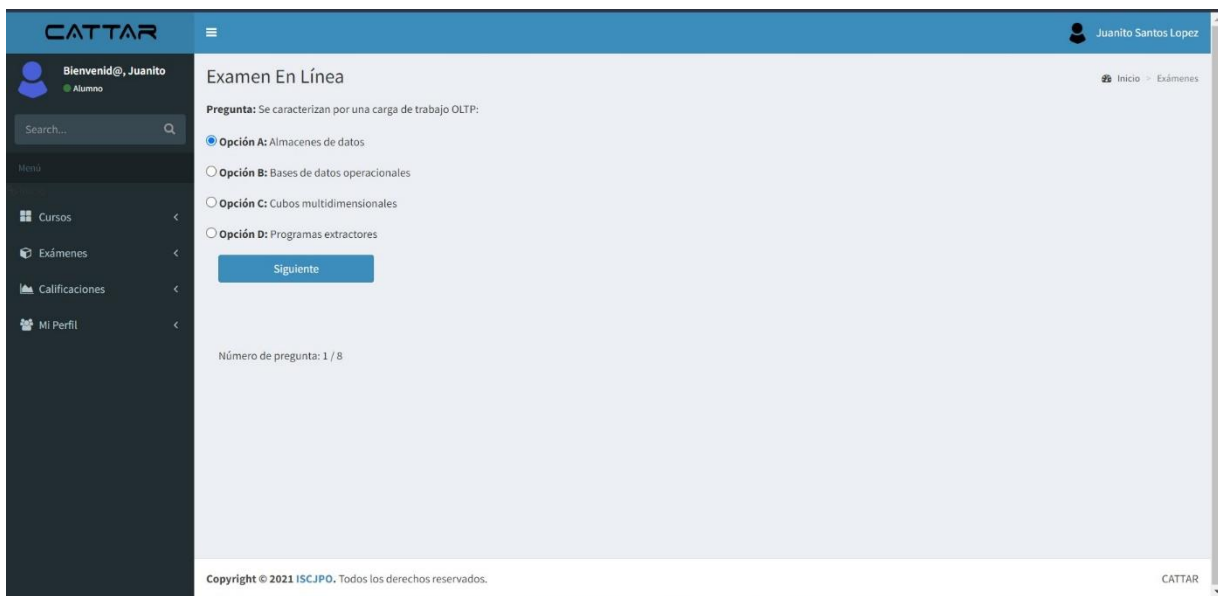


Figura 4. 15 Formulario de Examen

Aunque ya se proporcionó una explicación más detallada del método en el Capítulo 3, es esencial destacar nuevamente ciertos aspectos clave. Uno de los elementos fundamentales es que el método registra cada respuesta ingresada por el usuario, independientemente de si es correcta o incorrecta. Esta funcionalidad resulta crucial para creación de nuevas reglas de asociación. Adicionalmente, a lo largo de toda la evaluación, se ejecuta un procedimiento continuo de puntuación. Este procedimiento implica asignar a los alumnos una puntuación inicial de cien puntos al iniciar el examen. En caso de que una pregunta sea respondida incorrectamente, se lleva a cabo una deducción de puntos como penalización por la respuesta incorrecta. En contraste, cuando la respuesta es correcta, la calificación del alumno no sufre alteraciones. Una vez que se alcanza el número de preguntas de parada se obtiene la calificación final, se guarda en la base de datos y, por último, se redirige al usuario a la *Página Examen Terminado* donde se muestra la calificación final obtenida por el usuario, su nombre y la materia, esta, página se observa en la Figura 4.16.

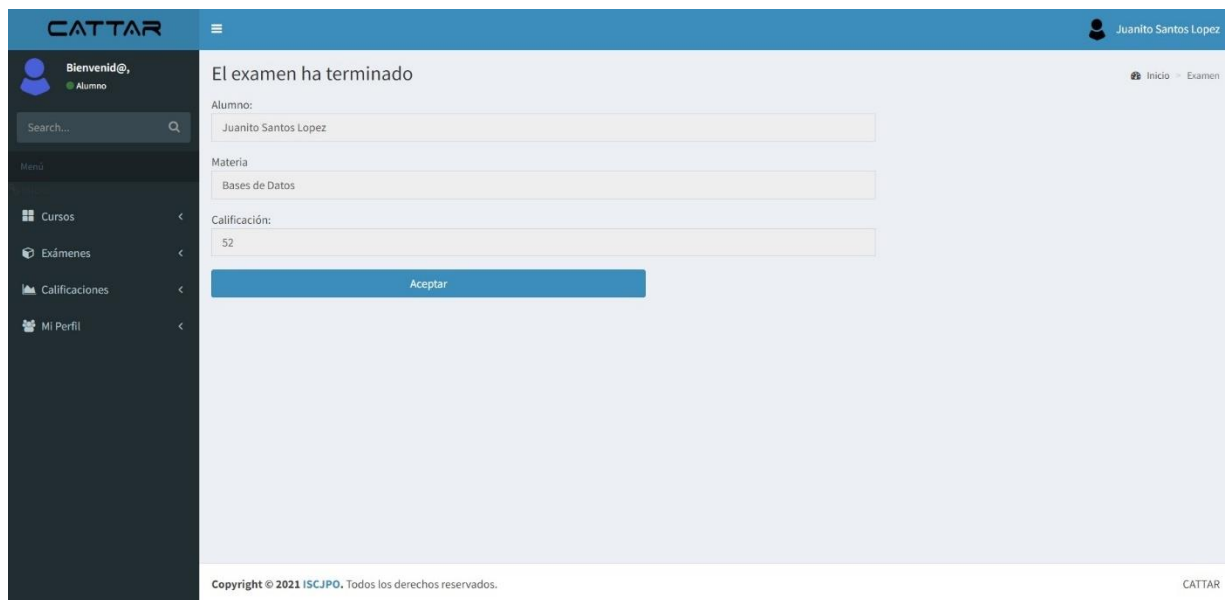


Figura 4. 16 Página Terminación de Examen

Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones

En este capítulo se presentan las conclusiones a las que se llegaron después de haber desarrollado el sistema de evaluación adaptativa computarizada basada en reglas de asociación secuenciales y algunas recomendaciones para realizar como trabajo futuro.

5.1 Conclusiones

En conclusión, este trabajo busca innovar en el ámbito de la evaluación educativa, con él se beneficiarán principalmente los alumnos y profesores de la materia de Bases de Datos de la Maestría en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Orizaba debido a que el sistema permite personalizar la experiencia de evaluación para cada estudiante, presentando ítems que se ajustan de manera dinámica a su nivel de conocimiento. La adaptabilidad se logra a través de la consideración no solo de las respuestas proporcionadas por el propio estudiante, sino también de las respuestas de otros participantes en la misma prueba. Además, es posible que docentes y estudiantes de otras materias y programas del Instituto utilicen el sistema desarrollado.

Las evaluaciones son una parte importante en el proceso de enseñanza-aprendizaje y se consideran como instrumentos psicopedagógicos universales, sin embargo, asumen que todos los estudiantes tienen el mismo nivel de conocimiento, sin tener certeza de ello, con el avance de la tecnología surgen los sistemas de evaluación adaptativa computarizada, que como su nombre lo indica se adaptan al nivel de conocimiento de cada alumno.

Tras el análisis de los artículos relacionados con la aplicación de métodos de minería de patrones secuenciales en educación, se concluyó que el 47% de los trabajos abordó principalmente la predicción de comportamiento. En contraste, sólo el 5% se enfocó en evaluación. Uno de ellos fue [27], que analizó *big data* y utilizó la teoría de respuesta al ítem en exámenes de inglés, obteniendo mejor desempeño estudiantil. Por su parte, [41] también abordó enseñanza de inglés, enfocándose en la clasificación de

preguntas según su sintaxis mediante obtención de información y minería de patrones. Su resultado fue un enfoque híbrido para extracción de características en control de calidad de inglés. Además, el 65% de los trabajos analizados utilizó datos de estudiantes universitarios, sin embargo, ninguno propuso el uso de minería de patrones secuenciales como método de selección de ítems en pruebas.

El sistema desarrollado usa el algoritmo TopSeqRules para obtener reglas de asociación secuenciales que se utilizan en el método de selección de ítems, ya que fue el que encontró una mayor cantidad de reglas con los valores de confianza establecidos y requirió menos tiempo y almacenamiento en memoria para el descubrimiento de los patrones secuenciales en el análisis presentado. La minería de reglas de asociación secuenciales es una técnica importante que busca reglas en una secuencia de patrones ordenados. El sistema desarrollado ofrece una mejora sobre el método que utiliza reglas de asociación, ya que en este caso es posible basarse en más de un antecedente para seleccionar la pregunta más adecuada para el estudiante.

En términos de tecnologías empleadas, se siguió la metodología UWE porque brinda un proceso sistemático para el desarrollo de aplicaciones web, cubriendo aspectos de análisis, diseño e implementación; el lenguaje de programación Java, el entorno de desarrollo NetBeans con el uso de JavaServer Faces para la construcción de interfaces de usuario en aplicaciones Java, con componentes reutilizables y soporte para la capa de presentación; el sistema gestor de bases de datos MySQL porque se usa ampliamente por la comunidad, cuenta con abundante documentación y soporte en Internet y *Sequential Pattern Mining Framework* (SPMF) como herramienta de minería de datos porque provee una colección de algoritmos eficientes y versátiles para extraer conocimiento de bases de datos secuenciales.

5.2 Recomendaciones

El sistema CATTAR tiene algunas áreas de mejora. Como trabajo futuro se propone el uso de otro de los diversos algoritmos de minería de patrones secuenciales que se incluyen en la herramienta de minería de datos como, por ejemplo, CMRules que fue uno de los más utilizados por los trabajos relacionados, TopSeqClassRules, RuleGen, entre otros.

Además, se recomienda utilizar otras técnicas de minería de datos, tanto predictivas como descriptivas para seleccionar los ítems en el sistema desarrollado. Una opción sería emplear técnicas de clasificación como redes neuronales o árboles de decisión. También, sería interesante aplicar técnicas de SDRD (*Supervised Descriptive Rule Discovery, Descubrimiento Supervisado de Reglas Descriptivas*) como EPM (*Emerging Pattern Mining, Minería de Patrones Emergentes*), SD (*Subgroup Discovery, Descubrimiento de Subgrupos*) o CSM (*Contrast Set Mining, Minería de Conjuntos de Contraste*) en el sistema desarrollado.

Por último, se tiene la propuesta de implementar un tipo de evaluación adaptativo con retroalimentación inducida por el usuario, ya que con esto se busca eliminar las respuestas al azar de cada examen.

Productos académicos



Reyes-García, A. U., Rodríguez-Mazahua, L., Pacheco-Ortiz, J., Abud-Figueroa, M. A., & Juárez-Martínez, U. (2023)

Hacia el desarrollo de un sistema de evaluación adaptativa computarizada basada en reglas de asociación secuenciales.

Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI, 11(Especial2), 61-69.
<https://doi.org/10.29057/icbi.v11iEspecial2.10705>

Arturo Uriel Reyes García, Lisbeth Rodríguez Mazahua, María Antonieta Abud Figueroa, Ulises Juárez Martínez, Asdrúbal López Chau.



SISTEMA DE EVALUACIÓN ADAPTATIVA
COMPUTARIZADA BASADA EN REGLAS DE
ASOCIACIÓN SECUENCIALES

(2024)

En proceso

Referencias

- [1] L. Salmerón, “¿ Por qué realizar un examen mejora nuestro aprendizaje ? Lecciones científicas y educativas del efecto del test”, *Ciencia Cognitiva. Revista Electrónica de Divulgación*, vol. 5, núm. 1, pp. 19–21, 2011.
- [2] A. A. Kostikov, K. V. Vlasenko, I. V. Lovianova, S. V. Volkov, y E. O. Avramov, “The algorithm for knowledge assessment based on the Rusch model”, *CEUR Workshop Proc*, vol. 3083, pp. 28–42, 2022.
- [3] A. Mizumoto, Y. Sasao, y S. A. Webb, “Developing and evaluating a computerized adaptive testing version of the Word Part Levels Test”, *Language Testing*, vol. 36, núm. 1, pp. 101–123, 2019, doi: 10.1177/0265532217725776.
- [4] D. J. Weiss y G. G. Kingsbury, “Application of Computerized Adaptive Testing to Educational Problems”, *J Educ Meas*, vol. 21, núm. 4, pp. 361–375, 2016.
- [5] E. P. María Buelvas, “Sistema de evaluación y retroalimentación adaptativa computarizado como alternativa para la evaluación particular del aprendizaje: Diseño del modelo”, 2018.
- [6] J. C. Riquelme, R. Ruiz, y K. Gilbert, “Minería de datos: Conceptos y tendencias”, *Inteligencia Artificial*, vol. 10, núm. 29, pp. 11–18, 2006.
- [7] S. Agarwal, “Data mining: Data mining concepts and techniques”, *Proceedings - 2013 International Conference on Machine Intelligence Research and Advancement, ICMIRA 2013*, pp. 203–207, 2014, doi: 10.1109/ICMIRA.2013.45.
- [8] D. Vila, “Detección De Patrones De Deserción Estudiantil Utilizando Técnicas Predictivas De Clasificación Y Regresión De Minería De Datos, Para La Gestión Académica De La Universidad Técnica Del Norte”, p. 104, 2019.
- [9] B. Beltrán Martínez, “Minería de datos”, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, 2001.
- [10] J. Han, J. Pei, y H. Tong, *Data mining: concepts and techniques*. Morgan kaufmann, 2022.
- [11] J. Ayres, J. Flannick, J. Gehrke, y T. Yiu, “Sequential PAttern mining using a

- bitmap representation”, en *Proceedings of the Eighth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, en KDD '02. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2002, pp. 429–435. doi: 10.1145/775047.775109.
- [12] P. Fournier-Viger y V. S. Tseng, “Mining Top-K Sequential Rules”, *ADMA*, 2012, [En línea]. Disponible en: <http://www.philippe-fournier-viger.com/spmf/>
 - [13] P. Fournier-Viger, U. Faghihi, R. Nkambou, y E. M. Nguifo, “CMRules: Mining Sequential Rules Common to Several Sequences”, *Knowledge-based Systems, Elsevier*, vol. 25, pp. 63–76, 2010.
 - [14] “¿Quiénes somos? – TecNM – ITO”. Consultado: el 1 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://www.orizaba.tecnm.mx/quienes-somos/>
 - [15] J. Pacheco-Ortiz, L. Rodríguez-Mazahua, J. Mejía-Miranda, I. Machorro-Cano, y U. Juárez-Martínez, “Towards Association Rule-Based Item Selection Strategy in Computerized Adaptive Testing”, *Studies in Computational Intelligence*, vol. 966, núm. 2, pp. 27–54, 2021, doi: 10.1007/978-3-030-71115-3_2.
 - [16] E. Rubio Delgado *et al.*, “Analysis of Medical Opinions about the Nonrealization of Autopsies in a Mexican Hospital Using Association Rules and Bayesian Networks”, *Sci Program*, vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/4304017.
 - [17] K. Pliakos, S. H. Joo, J. Y. Park, F. Cornillie, C. Vens, y W. Van den Noortgate, “Integrating machine learning into item response theory for addressing the cold start problem in adaptive learning systems”, *Comput Educ*, vol. 137, núm. April, pp. 91–103, 2019, doi: 10.1016/j.compedu.2019.04.009.
 - [18] A. Moubayed, M. Injadat, A. Shami, y H. Lutfiyya, “Relationship between student engagement and performance in e-learning environment using association rules”, *EDUNINE 2018 - 2nd IEEE World Engineering Education Conference: The Role of Professional Associations in Contemporaneous Engineer Careers, Proceedings*, 2018, doi: 10.1109/EDUNINE.2018.8451005.
 - [19] J. Rodríguez-Cuadrado, D. Delgado-Gómez, J. C. Laria, y S. Rodríguez-Cuadrado, “Merged Tree-CAT: A fast method for building precise computerized adaptive tests based on decision trees”, *Expert Syst Appl*, vol. 143, 2020, doi:

10.1016/j.eswa.2019.113066.

- [20] E. Tsutsumi, R. Kinoshita, y M. Ueno, “Deep item response theory as a novel test theory based on deep learning”, *Electronics (Switzerland)*, vol. 10, núm. 9, 2021, doi: 10.3390/electronics10091020.
- [21] J. Rodríguez-Cuadrado, J. C. Laria, y D. Delgado-Gómez, “cat.dt: An R package for fast construction of accurate Computerized Adaptive Tests using Decision Trees”, *R Journal*, vol. 13, núm. 2, pp. 123–134, 2021, doi: 10.32614/RJ-2021-091.
- [22] G. Czibula, A. Mihai, y L. M. Crivei, “S PRAR: A novel relational association rule mining classification model applied for academic performance prediction”, *Procedia Comput Sci*, vol. 159, pp. 20–29, 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.09.156.
- [23] M. Husák, T. Bajtoš, J. Kašpar, E. Bou-Harb, y P. Čeleda, “Predictive Cyber Situational Awareness and Personalized Blacklisting”, *ACM Trans Manag Inf Syst*, vol. 11, núm. 4, 2020, doi: 10.1145/3386250.
- [24] E. Doko, L. A. Bexheti, M. Hamiti, y B. P. Etemi, “Sequential pattern mining model to identify the most important or difficult learning topics via mobile technologies”, *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, vol. 12, núm. 4, pp. 109–122, 2018, doi: 10.3991/ijim.v12i4.9223.
- [25] E. Machado Real, E. Pinheiro Pimentel, y J. C. Braga, “Analysis of Learning Behavior in a Programming Course using Process Mining and Sequential Pattern Mining”, *Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE*, vol. 2021-Octob, 2021, doi: 10.1109/FIE49875.2021.9637146.
- [26] W. Song y W. Ye, “Mining Unexpected Sequential Patterns from MOOC Data”, *Proceedings - 12th IEEE International Conference on Big Knowledge, ICBK 2021*, pp. 434–439, 2021, doi: 10.1109/ICKG52313.2021.00064.
- [27] S. C. Cheng, Y. P. Cheng, y Y. M. Huang, “To Implement Computerized Adaptive Testing by Automatically Adjusting Item Difficulty Index on Adaptive English Learning Platform”, *Journal of Internet Technology*, vol. 22, núm. 7, pp. 1599–1607, 2021, doi: 10.53106/160792642021122207013.

- [28] K. Niemeijer, R. Feskens, G. Kreml, J. Koops, y M. J. S. Brinkhuis, “Constructing and predicting school advice for academic achievement: A comparison of item response theory and machine learning techniques”, *ACM International Conference Proceeding Series*, pp. 462–471, 2020, doi: 10.1145/3375462.3375486.
- [29] D. E. Aktas y M. S. Aktas, “Sequential Rule Mining on the Student Behavior Data of an E-Learning Platform in the Field of Financial Sciences: Case Study”, *3rd International Conference on Electrical, Communication and Computer Engineering, ICECCE 2021*, núm. June, pp. 12–13, 2021, doi: 10.1109/ICECCE52056.2021.9514230.
- [30] S. Falcon Mallqui, “El lenguaje de programación Java usado en las telecomunicaciones”, *Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle*, 2018, [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.une.edu.pe/handle/UNE/4125>
- [31] R. J. Paucar Códova, P. I. Parra Alarcón, P. X. Paguay Soxo, A. Buñay Guisñan, y J. K. Arellano Aucancela, “EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA TRANSFERENCIA DE IMÁGENES ENTRE LOS LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN JAVA Y PYTHON”, *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, RIOBAMBA*, 2018.
- [32] M. del C. Gómez Fuentes y J. Cervantes Ojeda, *Introducción a la Programación Web con Java: JSP y Servlets, JavaServer Faces Obra ganadora del Tercer Concurso para la publicación de libros de texto*. 2017. [En línea]. Disponible en: www.cua.uam.mx
- [33] “Bootstrap · The most popular HTML, CSS, and JS library in the world.” Consultado: el 26 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://getbootstrap.com/>
- [34] “Apache NetBeans Blog”. Consultado: el 30 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://netbeans.apache.org/blogs/index.html>
- [35] “MySQL :: MySQL 8.0 Reference Manual”. Consultado: el 22 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.0/en/>

- [36] “SPMF: A Java Open-Source Data Mining Library”. Consultado: el 16 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://philippe-fournier-viger.com/spmf/index.php>
- [37] J. K. Tarus, Z. Niu, y D. Kalui, “A hybrid recommender system for e-learning based on context awareness and sequential pattern mining”, *Soft comput*, vol. 22, núm. 8, pp. 2449–2461, abr. 2018, doi: 10.1007/s00500-017-2720-6.
- [38] T. Anwar y V. Uma, “CD-SPM: Cross-domain book recommendation using sequential pattern mining and rule mining”, *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 34, núm. 3, pp. 793–800, mar. 2022, doi: 10.1016/j.jksuci.2019.01.012.
- [39] J. Zheng, W. Xing, y G. Zhu, “Examining sequential patterns of self- and socially shared regulation of STEM learning in a CSCL environment”, *Comput Educ*, vol. 136, pp. 34–48, jul. 2019, doi: 10.1016/j.compedu.2019.03.005.
- [40] J. Wong, M. Khalil, M. Baars, B. B. de Koning, y F. Paas, “Exploring sequences of learner activities in relation to self-regulated learning in a massive open online course”, *Comput Educ*, vol. 140, oct. 2019, doi: 10.1016/j.compedu.2019.103595.
- [41] Y. Liu, X. Yi, R. Chen, Z. Zhai, y J. Gu, “Feature extraction based on information gain and sequential pattern for English question classification”, *IET Software*, vol. 12, núm. 6, pp. 520–526, 2018, doi: 10.1049/iet-sen.2018.0006.
- [42] S. Qu, K. Li, B. Wu, S. Zhang, y Y. Wang, “Predicting student achievement based on temporal learning behavior in MOOCs”, *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 9, núm. 24, dic. 2019, doi: 10.3390/app9245539.
- [43] A. Klašnja-Milićević, B. Vesin, y M. Ivanović, “Social tagging strategy for enhancing e-learning experience”, *Comput Educ*, vol. 118, pp. 166–181, mar. 2018, doi: 10.1016/j.compedu.2017.12.002.
- [44] G. Zhu, W. Xing, y V. Popov, “Uncovering the sequential patterns in transformative and non-transformative discourse during collaborative inquiry learning”, *Internet and Higher Education*, vol. 41, pp. 51–61, abr. 2019, doi: 10.1016/j.iheduc.2019.02.001.

- [45] G. Deeva y J. De Weerd, "Understanding Automated Feedback in Learning Processes by Mining Local Patterns", en *Lecture Notes in Business Information Processing*, Springer Verlag, 2019, pp. 56–68. doi: 10.1007/978-3-030-11641-5_5.
- [46] M. Taub, R. Azevedo, A. E. Bradbury, G. C. Millar, y J. Lester, "Using sequence mining to reveal the efficiency in scientific reasoning during STEM learning with a game-based learning environment", *Learn Instr*, vol. 54, pp. 93–103, abr. 2018, doi: 10.1016/j.learninstruc.2017.08.005.
- [47] S. Wan y Z. Niu, "A hybrid e-learning recommendation approach based on learners' influence propagation", *IEEE Trans Knowl Data Eng*, vol. 32, núm. 5, pp. 827–840, may 2020, doi: 10.1109/TKDE.2019.2895033.
- [48] M. I. Al-Twijri, J. M. Luna, F. Herrera, y S. Ventura, "Course Recommendation based on Sequences: An Evolutionary Search of Emerging Sequential Patterns", *Cognit Comput*, vol. 14, núm. 4, pp. 1474–1495, jul. 2022, doi: 10.1007/s12559-022-10015-5.
- [49] M. Taub y R. Azevedo, "How Does Prior Knowledge Influence Eye Fixations and Sequences of Cognitive and Metacognitive SRL Processes during Learning with an Intelligent Tutoring System?", *Int J Artif Intell Educ*, vol. 29, núm. 1, pp. 1–28, mar. 2018, doi: 10.1007/s40593-018-0165-4.
- [50] Y. C. Norm Lien, W. J. Wu, y Y. L. Lu, "How Well Do Teachers Predict Students' Actions in Solving an Ill-Defined Problem in STEM Education: A Solution Using Sequential Pattern Mining", *IEEE Access*, vol. 8, pp. 134976–134986, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3010168.
- [51] D. Yildirim y Y. Usluel, "Interrelated analysis of interaction, sequential patterns and academic achievement in online learning", *Australasian Journal of Educational Technology*, vol. 2022, núm. 2, pp. 1–20, 2022.
- [52] N. Zhang, G. Biswas, y N. Hutchins, "Measuring and Analyzing Students' Strategic Learning Behaviors in Open-Ended Learning Environments", *Int J Artif Intell Educ*, vol. 32, núm. 4, pp. 931–970, dic. 2022, doi: 10.1007/s40593-021-00275-x.

- [53] W. C. Shih, "Mining Sequential Patterns to Explore Users' Learning Behavior in a Visual Programming App", en *Proceedings - International Computer Software and Applications Conference*, IEEE Computer Society, jun. 2018, pp. 126–129. doi: 10.1109/COMPSAC.2018.10216.
- [54] W. Song, W. Ye, y P. Fournier-Viger, "Mining sequential patterns with flexible constraints from MOOC data", *Applied Intelligence*, vol. 52, núm. 14, pp. 16458–16474, nov. 2022, doi: 10.1007/s10489-021-03122-7.
- [55] R. Wang y O. R. Zaïane, "Sequence-Based Approaches to Course Recommender Systems", en *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, Springer Verlag, 2018, pp. 35–50. doi: 10.1007/978-3-319-98809-2_3.
- [56] N. v. Mudrick, R. Azevedo, y M. Taub, "Integrating metacognitive judgments and eye movements using sequential pattern mining to understand processes underlying multimedia learning", *Comput Human Behav*, vol. 96, pp. 223–234, jul. 2019, doi: 10.1016/j.chb.2018.06.028.
- [57] M. Taub y R. Azevedo, "Using Sequence Mining to Analyze Metacognitive Monitoring and Scientific Inquiry based on Levels of Efficiency and Emotions during Game-Based Learning", *Journal of Educational Data Mining*, , pp. 1–26, 2018.
- [58] J. Yang, "Effective Learning Behavior of Students' Internet Based on Data Mining", en *2021 IEEE 2nd International Conference on Big Data, Artificial Intelligence and Internet of Things Engineering, ICBAIE 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., mar. 2021, pp. 847–850. doi: 10.1109/ICBAIE52039.2021.9390049.
- [59] R. S. Bermudez, A. M. Sison, y R. P. Medina, "Extended PrefixSpan for Efficient Sequential Pattern Mining in a Game-based Learning Environment", en *ACM International Conference Proceeding Series*, Association for Computing Machinery, ene. 2020, pp. 118–122. doi: 10.1145/3379310.3381044.
- [60] K. Cheng Tan, D. Zantedeschi, A. Kumar, y A. Gaspar, "Genetic Algorithm

Cleaning in Sequential Data Mining: Analyzing Solutions to Parsons' Puzzles", *Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion*, pp. 2330–2333, 2020, doi: 10.1145/3520304.

- [61] D. Malekian, J. Bailey, y G. Kennedy, "Prediction of students' assessment readiness in online learning environments: The sequence matters", en *ACM International Conference Proceeding Series*, Association for Computing Machinery, mar. 2020, pp. 382–391. doi: 10.1145/3375462.3375468.
- [62] M. Kong y L. Pollock, "Semi-Automatically Mining Students' Common ScratchProgramming Behaviors", en *ACM International Conference Proceeding Series*, Association for Computing Machinery, nov. 2020. doi: 10.1145/3428029.3428034.
- [63] V. Latypova, "Work with Free Response Implementation Process Analysis Based on Sequential Pattern Mining in Engineering Education", en *2022 6th International Conference on Information Technologies in Engineering Education, Inforino 2022 - Proceedings*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022. doi: 10.1109/Inforino53888.2022.9782969.
- [64] S. Fatahi, F. Shabanali-Fami, y H. Moradi, "An empirical study of using sequential behavior pattern mining approach to predict learning styles", *Educ Inf Technol (Dordr)*, vol. 23, núm. 4, pp. 1427–1445, jul. 2018, doi: 10.1007/s10639-017-9667-1.
- [65] E. Pogorskiy y J. F. Beckmann, "Learners' web navigation behaviour beyond learning management systems: A way into addressing procrastination in online learning?", *Computers and Education: Artificial Intelligence*, vol. 3, ene. 2022, doi: 10.1016/j.caeai.2022.100094.
- [66] Q. He, F. Borgonovi, y M. Paccagnella, "Leveraging process data to assess adults' problem-solving skills: Using sequence mining to identify behavioral patterns across digital tasks", *Comput Educ*, vol. 166, jun. 2021, doi: 10.1016/j.compedu.2021.104170.
- [67] C. M. Chen y W. F. Wang, "Mining Effective Learning Behaviors in a Web-Based Inquiry Science Environment", *J Sci Educ Technol*, vol. 29, núm. 4, pp. 519–535,

ago. 2020, doi: 10.1007/s10956-020-09833-9.

- [68] J. Pacheco Ortiz, L. Rodríguez Mazahua, y G. Alor Hernández, “Reglas de asociación como estrategia de selección de ítems en exámenes adaptativos computarizados”, *CIENCIA ergo-sum*, vol. 30, núm. 2, ago. 2022, doi: 10.30878/ces.v30n2a10.