



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

**SISTEMA DE EVALUACIÓN INTELIGENTE PARA MEDIR  
HABILIDADES DE RAZONAMIENTO MATEMÁTICO**

Tesis presentada para obtener el título de:  
**Maestra en Ciencias de la Computación**

Presenta:

**Verónica Judith Hernández Moyotl**

Asesores:

**Dr. Roberto Contreras Juárez**

**Dr. Luis Carlos Altamirano Robles**

Puebla, Pue., 31 de enero de 2017



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

**SISTEMA DE EVALUACIÓN INTELIGENTE PARA MEDIR  
HABILIDADES DE RAZONAMIENTO MATEMÁTICO**

Tesis presentada para obtener el título de:  
**Maestra en Ciencias de la Computación**

Presenta:

**Verónica Judith Hernández Moyotl**

Sinodales

Presidente:

**Dr. Rogelio González Velázquez**

Secretario:

**Dr. José Alejandro Rangel Huerta**

Vocal:

**Dr. Luis Carlos Altamirano Robles**

Vocal:

**Dr. Roberto Contreras Juárez**

Puebla, Pue., 31 de enero de 2017

## Dedicatoria

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Todo esto ha sido posible gracias a ellos.

---

## Agradecimientos

A Dios.

*Por haberme permitido llegar a este punto de mi vida, por haberme dado salud para lograr mis objetivos.*

A mi madre Maura.

*Por haberme apoyado en todo momento, por tu amor, comprensión y apoyo incondicional, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero sobre todas las cosas gracias por ser mi madre y amarme como lo haces.*

A mi padre Baltazar.

*Por enseñarme que no importan las circunstancias, la perseverancia siempre te da recompensas, por el valor mostrado para salir adelante.*

A mis hermanos.

*A mi hermano Baltazar, por ser mi cómplice, por tu apoyo y las noches que pasaste a mi lado, ayudándome a repasar mis avances. Por tolerar mis cambios de humor.*

A mis maestros

*Dr. Roberto, por su gran apoyo y por la confianza depositada en mi, por ser mi maestro y amigo en todo momento. Dr. Luis, por creer en mi, por apoyarme y motivarme en la culminación de mis estudios. A todos aquellos maestros que fueron mi luz en el camino.*

A Ines

*Por ser mi amiga, confidente, mi guía, por ayudarme en todo momento, por hacer mi vida en el posgrado más amena, por creer en mi.*

A mis amigos.

*A Irving por ser parte de mi crecimiento, porque siempre estas para mi. A Laura porque siempre haz creído en mi, incluso cuando yo no lo hacia. A Aline por ser la persona que siempre me anima y me dice: "Tu puedes". A Karen por motivarme, apoyarme y estar conmigo. Gracias a todos mis amigos por sus palabras de aliento, por no dejarme rendir, por confiar en mi, por estar a mi lado, por su apoyo incondicional.*

A mis amigos y compañeros de la maestría

*Por todo el crecimiento, las experiencias, por todos los momentos de alegría, por ser un equipo y por el apoyo que siempre hubo entre nosotros.*

## Resumen

El siguiente trabajo muestra una investigación sobre el diseño y la implementación de un Test Adaptativo Informatizado con el fin de proporcionar las bases que sustenten el desarrollo de un sistema de evaluación inteligente que mida habilidades de razonamiento matemático, incorporando al resultado un perfil cognitivo del sustentante.

En la parte teórica se muestra el fundamento de una prueba adaptativa, la psicometría de los reactivos, la construcción de procesos cognitivos, la asignación de niveles de desempeño, así como, la descripción y diseño de un algoritmo inteligente para la selección de reactivos.

Para la parte experimental se utilizan reactivos calibrados y probados en las pruebas de ejercitación del seminario de orientación de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Se muestra el desarrollo del sistema de evaluación inteligente utilizando una arquitectura cliente servidor de tres niveles, implementado en el lenguaje de programación java, utilizando MySQL como sistema gestor de base de datos y HTML para la interfaz con el usuario.

## Índice general

---

Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Resumen	III
Lista de figuras	VII
Lista de tablas	IX
Justificación	1
Objetivos	3
<b>1. Conceptos Básicos</b>	<b>4</b>
1.1. Pruebas Psicométricas . . . . .	5
1.2. Teoría Clásica de los Test . . . . .	6
1.2.1. Índice de dificultad . . . . .	6
1.2.2. Índice de discriminación . . . . .	6
1.3. Teoría de Respuesta al Ítem . . . . .	6
1.3.1. Curva característica del ítem . . . . .	7
1.3.1.1. Modelo logístico de tres parámetros . . . . .	8
1.3.2. Unidimensionalidad . . . . .	9
1.3.3. Independencia local . . . . .	9
1.4. Test Informatizado . . . . .	10
1.5. Test Adaptativos Informatizados . . . . .	11
1.5.1. Componentes de un TAI . . . . .	11

---

1.6. Sistemas de Evaluación Inteligente . . . . .	13
1.7. Perfiles Cognitivos . . . . .	14
1.8. Taxonomía de Bloom . . . . .	15
<b>2. Reactivos, Procesos y Niveles Cognitivos</b>	<b>18</b>
2.1. Reactivos . . . . .	18
2.1.1. Dificultad del reactivo . . . . .	19
2.1.2. Índice de discriminación . . . . .	21
2.2. Procesos Cognitivos . . . . .	21
2.2.1. Entender . . . . .	22
2.2.2. Aplicar . . . . .	23
2.2.3. Resolver problemas simples o complejos . . . . .	23
2.3. Contenido y Niveles Cognitivos . . . . .	26
2.3.1. Contenido específico . . . . .	26
2.3.2. Niveles cognitivos . . . . .	27
2.3.2.1. Nivel I . . . . .	28
2.3.2.2. Nivel II . . . . .	29
2.3.2.3. Nivel III . . . . .	29
2.3.2.4. Nivel IV . . . . .	30
<b>3. Metodología para la Implementación de un TAI</b>	<b>31</b>
3.1. Planificación y Prospección del TAI . . . . .	32
3.1.1. Objetivo final . . . . .	32
3.1.2. Población a evaluar . . . . .	32
3.1.3. Formato y estructura de los ítems . . . . .	32
3.1.4. Costos y beneficios . . . . .	33
3.2. Producción y Calibración del banco de Ítems . . . . .	34
3.2.1. Banco de ítems . . . . .	34
3.2.2. Integración de reactivos . . . . .	35
3.3. Implementación y Ejecución del TAI . . . . .	35
3.4. Explotación y Gestión del TAI . . . . .	36
3.5. Mantenimiento y Renovación del TAI . . . . .	36

---

<b>4. Implementación del Sistema de Evaluación</b>	<b>37</b>
4.1. Análisis de los Requisitos del Software . . . . .	37
4.2. Diseño del Sistema de Evaluación . . . . .	39
4.2.1. Requisitos funcionales y no funcionales . . . . .	40
4.2.2. Base de datos . . . . .	43
4.2.3. Arquitectura de software . . . . .	43
4.2.3.1. Arquitectura cliente servidor . . . . .	44
4.2.3.2. Framework . . . . .	48
4.2.3.3. Modelo vista controlador (MVC) . . . . .	49
4.2.3.4. Arquitectura del sistema de Evaluación . . . . .	51
4.2.4. Selección del algoritmo Adaptativo . . . . .	53
4.2.4.1. Heurísticas . . . . .	55
4.2.4.2. Algoritmo de selección . . . . .	56
4.3. Codificación . . . . .	58
<b>5. Resultados</b>	<b>66</b>
<b>6. Conclusiones</b>	<b>71</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>72</b>

## Lista de figuras

---

1.1. Curva Característica del Ítem (CCI) . . . . .	7
1.2. Parámetro de Pseudo - Adivinación . . . . .	9
1.3. Proceso Iterativo de un TAI . . . . .	12
1.4. Diagrama de Flujo de un TAI . . . . .	13
1.5. Taxonomía de Bloom . . . . .	16
1.6. Taxonomía Propuesta . . . . .	17
2.1. Distribución Normal . . . . .	20
4.1. Diagrama Caso de uso: Roles del Sistema . . . . .	39
4.2. Arquitectura Cliente Servidor: 3 Niveles . . . . .	44
4.3. Interfaz Principal . . . . .	46
4.4. Modelo Relacional . . . . .	47
4.5. Modelo Vista Controlador . . . . .	51
4.6. Diagrama de Flujo: Funcionamiento del Sistema . . . . .	52
4.7. Arquitectura del Sistema de Evaluación . . . . .	53
4.8. Diseño del Algoritmo . . . . .	58
4.9. Estructura del Proyecto . . . . .	59
4.10. Carpeta Archivos JSP . . . . .	59
4.11. Interfaz: De Autenticación . . . . .	60
4.12. Interfaz: Instrucciones . . . . .	60
4.13. Interfaz: Pregunta . . . . .	61
4.14. Interfaz: Resultados . . . . .	61
4.15. Carpeta Archivos Source Packages . . . . .	62
4.16. Funcionamiento del Sistema . . . . .	63

---

4.17. Consulta Básica . . . . .	64
4.18. Consulta Básica . . . . .	65
5.1. Resultados de la Prueba Escrita . . . . .	67
5.2. Resultados del TAI . . . . .	68
5.3. Comparación de la Prueba Escrita y el TAI . . . . .	69

## Lista de tablas

---

2.1. Intervalos de Dificultad Estándar . . . . .	19
2.2. Intervalos de Dificultad . . . . .	20
2.3. Proceso Cognitivo: Entender . . . . .	22
2.4. Proceso Cognitivo: Aplicar . . . . .	23
2.5. Proceso Cognitivo: Resolver Problema Simple . . . . .	24
2.6. Proceso Cognitivo: Resolver Problema Complejo . . . . .	25
2.7. Niveles de Desempeño . . . . .	28
4.1. Caso de Uso: Registrar Usuarios . . . . .	41
4.2. Caso de Uso: Administrar BD . . . . .	41
4.3. Caso de Uso: Realizar Test . . . . .	42
4.4. Caso de uso: Visualizar Resultados . . . . .	42
4.5. Algoritmo de Selección de Reactivos . . . . .	57
5.1. Reactivo en Sistema . . . . .	70

En México, a partir de la década de los noventa se hace evidente la necesidad de realizar investigación educativa con altos estándares de calidad, en particular a lo relacionado con los exámenes de admisión ([Martínez Rizo, 2001](#)).

Actualmente muchas de las *Instituciones de educación superior (IES)*, realizan procesos de investigación en el área educativa, específicamente sobre la elaboración de pruebas estandarizadas para fines de selección, una de las áreas más explorada es la del desarrollo de las pruebas adaptativas a partir de las cuales, se pueden llevar a cabo evaluaciones psicológicas, con la particularidad que este tipo de pruebas utilizan como herramienta un equipo de cómputo, para la presentación y evaluación de los reactivos, además, tienen la capacidad de irse adaptando al nivel de conocimientos manifestado por el individuo a lo largo de la prueba, este tipo de pruebas y en general todas las de su gama tienen como objetivo proporcionar la misma validez y confiabilidad que las pruebas escritas ([Vispoel et al., 2005](#)), ([Escudero and Segura, 2005](#)). Lo anterior, permitirá garantizar que los estudiantes aceptados en las *IES*, sean aquellos que en condiciones normales concluyan sus estudios satisfactoriamente ([Cuevas et al., 2005](#)).

Se sabe que dentro de las correlaciones mas altas de éxito escolar se encuentran en primer lugar el promedio alcanzado en el nivel educativo anterior y en seguida se encuentran las habilidades de razonamiento ([Revueña et al., 2003](#)).

Este proyecto de investigación busca el diseño y construcción de un prototipo de prueba adaptativa computarizada, enmarcada en un dominio específico: razonamiento matemático, específicamente en el área de álgebra intermedia, conocimiento que un estudiante que aspire a una *IES* debe poseer, ya que ha sido adquirido a lo largo de su trayectoria escolar.

A pesar de ser escasos los estudios que exploran la probabilidad de éxito y los exámenes de admisión, los existentes demuestran que medir habilidades de razonamiento reduce los

sesgos que una prueba de conocimiento presenta ([Chaín et al., 2003](#)), ([Revuelta et al., 2003](#)).

El prototipo de prueba adaptativa a desarrollar utilizará un algoritmo inteligente de selección de reactivos que genere un proceso de aprendizaje en base a las respuestas obtenidas de cada pregunta e irá seleccionando el siguiente reactivo a mostrar, con ello creará y determinará un perfil cognitivo de acuerdo al nivel de conocimiento y el dominio cognitivo del estudiante. La prueba brindará la misma confiabilidad y validez que lo ofrecido por su versión escrita.

### Objetivo General

Diseñar y desarrollar un prototipo de prueba adaptativa basada en un algoritmo de selección inteligente que permita medir las habilidades de razonamiento matemático en álgebra de un estudiante que haya concluido su instrucción media superior, generando así un perfil cognitivo que sirva para garantizar un buen desempeño de los alumnos a lo largo de su estadía en la *IES*.

### Objetivos Particulares

- Realizar un análisis de los requerimientos del sistema.
- Definir procesos cognitivos a partir de la Taxonomía de Bloom.
- Diseñar e implementar un método de selección de reactivos basada en una técnica de aprendizaje estadístico automático.
- Desarrollar y aplicar una metodología para la implementación de la prueba adaptativa.
- Obtener un perfil cognitivo del alumno a partir de sus respuestas a la prueba adaptativa diseñada.
- Obtener puntajes consistentes entre la prueba adaptativa y la escrita.

---

# Capítulo 1

## Conceptos Básicos

---

En el campo educativo, la evaluación es el medio utilizado por los docentes para estimar las aptitudes y conocimientos de los alumnos. Generalmente a una evaluación se le asocia una prueba escrita que contiene una relación de reactivos sobre temas desarrollados en clase. El proceso de construcción y selección de reactivos depende directamente del docente, basándose en su criterio, esto provoca que la prueba no se adapte al estudiante, y se desconozca el nivel de habilidades en los alumnos de manera personalizada.

En las últimas décadas, los avances computacionales han generado un importante cambio de enfoque, estrategias y objetivos en el campo de la evaluación educativa (Gil et al., 2000). Así, los test informatizados son instrumentos de evaluación que se responden en un ordenador para estimar el nivel de rendimiento de un estudiante. Sin embargo, este tipo de instrumento evalúa a todos los estudiantes con el mismo conjunto de reactivos, sin la posibilidad de presentarle a un alumno un reactivo con la complejidad adecuada a sus conocimientos.

Por ello surgen los test adaptativos informatizados. Los *TAI* se basan en la presentación de los ítems en grupos que pueden ir de uno en uno hasta de tres en tres, donde la selección de un siguiente ítem esta condicionada a la respuesta del ítem anterior. Los primeros intentos de aplicación de *TAIs* se realizaron a partir de los años setenta gracias a los desarrollos de modelos teóricos de la *Teoría de Respuesta al ítem (TRI)* y de la computación. El primer sistema integrado para aplicar bancos de ítems de forma adaptativa fue editado por la Assesment Systems Corporation en 1984 (Sierra-Matamoros et al., 2007). Los primeros *TAIs* elaborados se usaron en la milicia y fueron desarrollados por *ASVAB* en los Estados Unidos y *MicroPAT* en Europa. En la actualidad, el uso de *TAIs* se ha extendido a varios test estandarizados como el *Test of English as a Foreing Language (TOEFL)*.

Para la implementación de un *TAI* es necesario un algoritmo adaptativo que describa el comportamiento que debe tener la evaluación, mismo que se basa en el ítem a presentar en cada iteración, durante la prueba. Para selección y presentación de los ítems la *TRI* y la *Teoría de Decisión Bayesiana (TDB)* se han considerado como alternativas de solución. La *TRI* ofrece modelos matemáticos y métodos estadísticos para la justificación en la elección de los ítems, así como, la estimación del nivel de habilidad para el estudiante (Jodoin et al., 2006). Por su parte, la *TDB* se basa en razonamiento probabilista, el cual considera el vector de respuestas que provee el estudiante para decidir si se domina o no, un determinado tópico (Luecht et al., 2006).

Aunque estas teorías han guiado el desarrollo de los *TAIs* no consideran las habilidades cognitivas en el estudiante, las cuales pueden afectar o mejorar el desempeño durante una evaluación. Es por ello que en este proyecto de investigación se propone incluir la construcción de los perfiles cognitivos del estudiante, los cuales permitirán a los docentes tener un mejor panorama de las capacidades en sus estudiantes y en el caso de las *IES* una mejor percepción de los estudiantes que está admitiendo, proporcionando de manera más precisa una proyección del buen desempeño del estudiante.

## 1.1. Pruebas Psicométricas

La psicometría a diferencia de la evaluación psicológica hace énfasis en la medición de instrumentos y test, no en el diagnóstico de una persona. Entre 1904 y 1910 Charles Spearman funda la *Teoría Clásica de los Test (TCT)*, casi a la par con el desarrollo de instrumentos que permiten medir la inteligencia (García, 2016). A partir de este trabajo crece el desarrollo de las teorías de medición y de métodos estadísticos para asegurar que un instrumento satisface una serie de indicadores que permita afirmar que su construcción está correctamente medida.

Desde los comienzos de la *TCT* se observó que un instrumento de medición esta estrechamente ligado con la población que lo contesta y el nivel de conocimientos esta relacionado con el test. En 1980 Rasch plantea la *Teoría de la Respuesta al Ítem*, la *TRI* establece dentro de sus principios que su unidad básica de estudio es el ítem y no la prueba completa (Fernández, 2010). Igualmente la aptitud del examinado es la que manifiesta al momento de responder y no depende del test en particular o de la población considerada.

## 1.2. Teoría Clásica de los Test

El desarrollo de la *TCT* se centra en el análisis de la prueba como una unidad. En comparación con la *TRI*, no hay tanto énfasis en el estudio de los reactivos individuales ni se han desarrollado técnicas que correspondan a ello (Chávez and Saade, 2010). Sin embargo se han creado una gran cantidad de indicadores para asegurar que determinado instrumento de evaluación es robusto, como son el índice de dificultad y el índice de discriminación.

### 1.2.1. Índice de dificultad

Evaluar la dificultad de los reactivos es importante por dos razones básicas

1. Tener una idea de que tan fácil o difícil sera la prueba para el sustentante. Esto es útil en la medida que se puede diseñar con ello un examen, dependiendo del objetivo que se busque.
2. Conocer la distribución de las dificultades de los reactivos permite diseñar pruebas similares, eligiendo reactivos con cuidado para que sus dificultades se distribuyan de una manera predeterminada en cada una de ellas.

### 1.2.2. Índice de discriminación

Cuando se aplica una prueba lo que se espera es que se pueda diferenciar adecuadamente entre los sustentantes que saben sobre el tema que se les pregunta y los que no. Un indicador importante en la selección de reactivos debe ser algún índice que permita determinar si un reactivo discrimina de manera efectiva entre ambos tipos de sustentantes (Chávez and Saade, 2010).

## 1.3. Teoría de Respuesta al Ítem

La calibración de los ítems bajo uno de los modelos de la *TRI*, tiene como propósito la estimación de los parámetros de los ítems, teniendo en cuenta la invarianza de la medida respecto

del instrumento y del grupo de examinados. Dado que la *TRI* intenta buscar mediciones invariantes respecto del instrumento y de los examinados, su empleo en la construcción de los *TAIs* es fundamental, por lo que a continuación se expone de forma sucinta los supuestos que la fundamentan: *Curva característica del ítem, unidimensionalidad e independencia local*.

### 1.3.1. Curva característica del ítem

Según la *TRI*, la probabilidad de acertar un ítem depende de los valores en la variable medida por el ítem, es decir, del nivel de habilidad del sujeto ( $\Theta$ ). La relación entre esa probabilidad  $P(\Theta)$  y el nivel de habilidad ( $\Theta$ ) se puede explicar mediante una función matemática denominada *Curva Característica del ítem (CCI)*. Figura 1.1

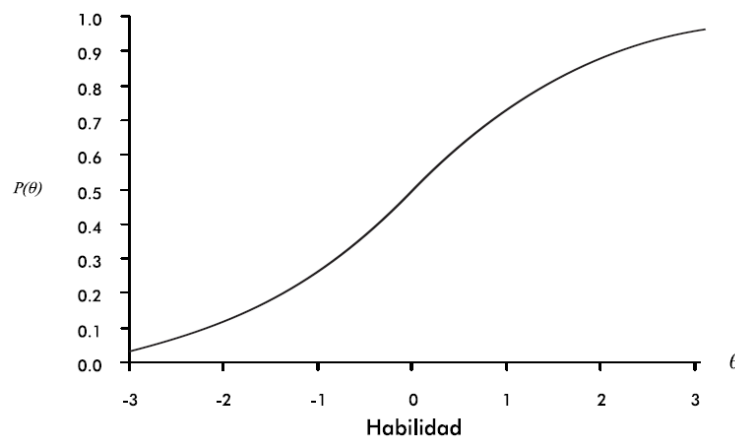


Fig. 1.1. Curva Característica del Ítem (CCI)

El nivel de habilidad ( $\Theta$ ) puede asumir valores entre  $-\infty$  y  $+\infty$ , aunque en las estimaciones hechas en los *TAIs* se emplea un rango de -3 a 3, en el que 0 se refiere a un nivel de habilidad medio, -3 a un nivel de habilidad mínimo (la probabilidad de acertar el ítem con este nivel se acerca al azar), y 3, un nivel de habilidad alto (Hambleton et al., 1991), (Muñiz, 1997), (Lord, 1980).

La curva puede explicarse por medio de una, de dos tipos de funciones matemáticas: función logística y curva normal acumulada. Cada función puede incluir uno, dos o tres parámetros. En los *TAIs* suele utilizarse el modelo logístico de tres parámetros (Muñiz, 1997), por lo

---

que se recomienda que el banco a usar tenga ítems con un parámetro  $a$  elevado (Hambleton et al., 1991), una distribución uniforme de frecuencias que caracterice al parámetro  $b$  y una probabilidad de acierto aleatorio en el parámetro  $c$  (Gil et al., 2000).

### 1.3.1.1. Modelo logístico de tres parámetros

Una de las características de los reactivos de opción múltiple es que por definición tienen una probabilidad asociada a ser respondidos correctamente por azar. El modelo logístico de tres parámetros incorpora la posibilidad de que la respuesta correcta haya sido adivinada, agregando el parámetro  $c$ , al modelo de dos parámetros (Chávez and Saade, 2010), de acuerdo a la siguiente expresión.

$$P_i(\theta) = c_i + (1 - c_i) * \frac{1}{1 + e^{a_j(\theta - b_i)}}, i = 1, 2, \dots, n.$$

Donde:

- $P_i(\theta)$  Probabilidad de que un examinado con habilidad  $\theta$  responda correctamente el reactivo  $i$
- $b_i$  Dificultad de reactivo  $i$
- $a_i$  Discriminación de reactivo  $i$
- $c_i$  Pseudo - adivinación del reactivo  $i$
- $n$  Número de reactivos en la prueba
- $e$  2.718

La fórmula indica que existe una probabilidad fija igual a  $c_i$ , que es independiente al nivel de habilidad del sustentante. Normalmente el parámetro  $c_i$  toma valores menores a la probabilidad estimada para la adivinación aleatoria. Esto se atribuye a que los sustentantes con habilidad baja normalmente son atraídos a seleccionar alguna de las respuestas incorrectas (distractores), por lo que podrían obtener un puntaje más alto, contestando aleatoriamente, es por ello que el parámetro  $c$  se denomina pseudo-advinación. Figura 1.2.

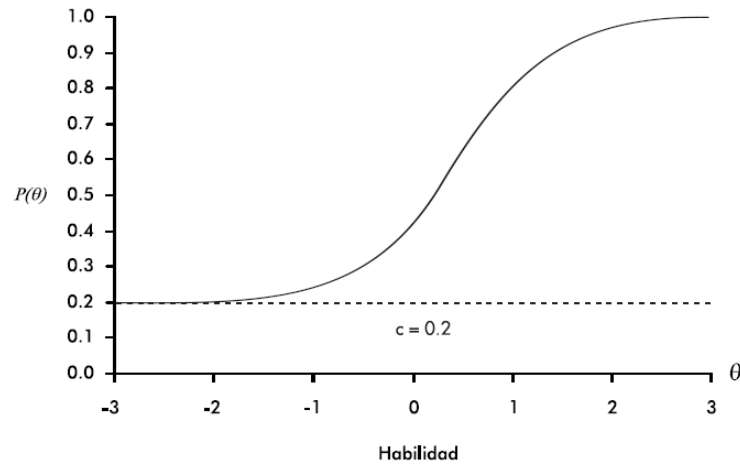


Fig. 1.2. Parámetro de Pseudo - Adivinación

### 1.3.2. Unidimensionalidad

El supuesto de unidimensionalidad implica que los ítems constituyen una sola dimensión, es decir, miden un mismo y único rasgo, de lo cual se deduce que la probabilidad de acertar un ítem depende únicamente de un sólo factor, el nivel de habilidad ( $\Theta$ ).

### 1.3.3. Independencia local

El supuesto de independencia local entre los ítems se deriva del anterior e implica que la respuesta que un sujeto da a un ítem no viene influida por sus respuestas a otros, es decir, la probabilidad de acertar un número de ítems es igual al producto de las probabilidades de acertar cada uno de ellos (Muñiz, 1997).

Estos dos supuestos resultan imprescindibles en un *TAI*, pues al presentar un número reducido de ítems, la estimación final de ( $\Theta$ ) no puede depender de que los ítems se refieran a uno u otro rasgo (Gil et al., 2000).

En relación con el procedimiento de estimación del nivel de habilidad, en los *TAIs* se tienen en cuenta las respuestas que el examinado da a los ítems presentados y se lleva a cabo utilizando las características psicométricas de los ítems, principalmente el parámetro  $b$ , o éstas unidas con valores de habilidad previos a través de algoritmos matemáticos.

La forma en la que dicha estimación se realiza varía de acuerdo con el tipo de estrategias de funcionamiento de un *TAI*. El valor numérico (estimación de  $\Theta$ ) que se obtiene está comprendido entre el rango de -3 a 3. En la medida en que se presentan más ítems, el nivel de habilidad estimado se acerca de forma más precisa al nivel de habilidad real, lo que quiere decir que el error de medición disminuye (Gil et al., 2000).

El procedimiento de selección sucesiva de ítems consiste en la aplicación de estrategias para seleccionar un ítem aún no presentado, para lo cual se tienen en cuenta las características psicométricas del ítem o el nivel de habilidad estimado. Así, se selecciona entre los ítems restantes del banco aquél que resulte más informativo para un cierto nivel de habilidad. La selección varía de acuerdo con la estrategia de funcionamiento empleada (Gil et al., 2000).

## 1.4. Test Informatizado

Un Test Informatizado es un test tradicional en el que se utiliza un ordenador para la administración de ítems (o reactivos), recolección de respuestas, corrección del test y la emisión de la calificación (Beltrán, 2000).

La construcción de un test informatizado no se trata solo de digitalizar los reactivos de las pruebas escritas, se trata de construir plataformas computacionales utilizando herramientas tecnológicas. Para la creación de test informatizados existen dos tendencias, la primera es la construcción de pruebas con diferentes reactivos con una determinada longitud, pero que sean equiparables en cuanto a la dificultad de los reactivos, el area de contenido y otros indicadores (Jodoin et al., 2006), la segunda es la construcción de pruebas adaptativas, en ellas la extension de la prueba es variable y la cantidad y dificultad de los reactivos se van presentando conforme a la respuesta del aspirante (Vispoel et al., 2005). Lo anterior permite optimizar la extension de la prueba, además de reducir el tiempo de aplicación, así como, el tiempo para conocer los resultados (Aiken et al., 2003).

## 1.5. Test Adaptativos Informatizados

Un Test Adaptativo Informatizado *TAI* se define como un instrumento conformado por un banco de ítems, calibrado según principios de la Teoría de Respuesta al Ítem, que implica un procedimiento para estimar el nivel de habilidad del examinado, y otro procedimiento para la selección del ítem más adecuado de acuerdo con dicho nivel ([Sierra-Matamoros et al., 2007](#)); cuya elaboración, aplicación, clasificación y actualización se realiza por medio de un soporte computacional ([Hambleton et al., 1991](#)). Algunas de las pruebas adaptativas tienen su antecedente en su versión escrita y en ocasiones la versión escrita permite alimentar el banco de reactivos de las versiones adaptativas ([Jodoin et al., 2006](#)).

### 1.5.1. Componentes de un TAI

Un test adaptativo informatizado esta compuesto por los siguientes elementos:

- Un banco de Items con características psicométricas establecidas previamente por el modelo de la Teoría de la Respuesta al Ítem.
- Un procedimiento para implementar el inicio y el final de la prueba, además, una estrategia para establecer los items a presentar, de manera que sean los mas deseables.
- Estadística de estimación de los rasgos de las personas de un mismo nivel

Los componentes principales de un *TAI* integran un proceso iterativo de 3 pasos que se describe continuación y se muestra gráficamente en la Figura [1.3](#).

1. La evaluación del criterio de paro; se debe establecer un cierto número de ítems para administrar y presentar.
2. La selección de reactivos; la selección de ítems es uno de los aspectos sobre los que mas se ha investigado en el campo de los *TAIs*
3. La respuesta; este es el único campo en el que se involucra el examinado, ya que después de automatizar el test, debe hacerlo adaptativo, proceso que se deriva de la respuesta proporcionada del sustentante.

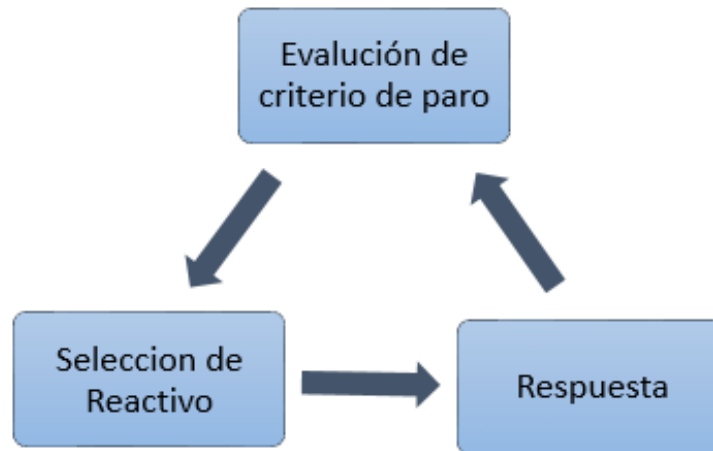


Fig. 1.3. Proceso Iterativo de un TAI

El objetivo de un *TAI* es optimizar tiempo y seguridad durante su aplicación. En el proceso de generación de un *TAI* se debe considerar los siguientes aspectos (Barrada et al., 2010):

- Las propiedades psicométricas, donde se mide con exactitud el diseño del test y su validez de contenido y de respuestas.
- El banco de reactivos, almacena los rasgos y habilidades mas sobresalientes en el test aplicado, de donde se extraen las características mas sobresalientes.
- La estimación de los parámetros de los items, proporcionan los modelos de elaboración para las escalas de medición de los diferentes parámetros que componen el banco de items.
- La comparación de las estimaciones de los parámetros en los test.
- Un programa a utilizar que convierta los test aplicados a un *TAI*, el objetivo, ofrecer una visión actualizada de la aplicación de los test.

Con esto, se presenta la estructura básica de un *TAI*, se muestra en Figura 1.4.

El supuesto que soporta a los *TAI* es la construcción de pruebas hechas a la medida, es decir, la posibilidad de presentar ítems al examinado de acuerdo con el desempeño que ha mostrado en los ítems precedentes. En otras palabras, las pruebas se configuran a partir de la respuesta

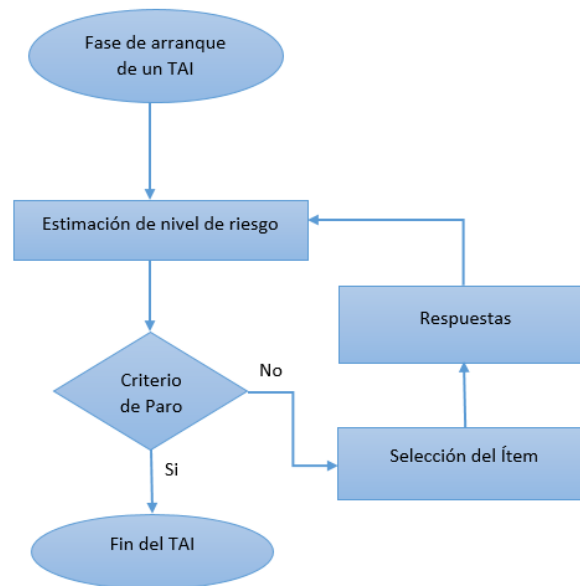


Fig. 1.4. Diagrama de Flujo de un TAI

que el examinado da a un ítem y su correspondencia con un nivel estimado de habilidad que permite la elección y presentación de uno de los ítems restantes del banco (Hambleton et al., 1985). Este procedimiento implica, por una parte, la posibilidad de presentar distintos ítems y pruebas a diferentes examinados, pues se supone que poseen diferentes niveles de habilidad y, por otra parte, el uso de pocos ítems, ya que se aplican aquellos que más informan acerca del nivel de habilidad (Muñiz, 1997).

El uso de los *TAIs* proporciona una evaluación de habilidades o conocimientos precisos y eficientes proporcionando posibilidades de mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje (Olea and Ponsoda, 1998).

## 1.6. Sistemas de Evaluación Inteligente

Actualmente el desarrollo de los *TAIs* ha pasado al área de la inteligencia artificial, incorporando los *Sistemas de Tutor Inteligente (STI)*, aparte de los propios *TAI*, la *TRI* y la *TCT*. Un sistema de tutor inteligente, " es un sistema de software que utiliza técnicas de

---

*inteligencia artificial (IA)* para representar el conocimiento e interactuar con los estudiantes para enseñárselo” (Simanca Herrera and Abuchar Porras, 2015).

Tal es el caso de la plataforma *Algorithm of Intelligent Evaluation (AEI)*, propone un prototipo que utiliza como algoritmo adaptativo el uso de una red neuronal de tipo back-propagation tomando como datos de entrada los resultados de las evaluaciones parciales disgregados en dos formas:

- a) Tomando el caso de resolución de los ejercicios.
- b) Tomando ejercicios en función de los logros cognitivos.

Esto usando datos provenientes de las evaluaciones parciales de los estudiantes a fin de poder predecir un futuro rendimiento Barrada et al. (2010), (Backhoff et al., 1996), (Chang and Ying, 2004), sin embargo, el modelo se propone de forma teórica, considerando un sistema completo de calibración de reactivos y la parte adaptativa.

Otro modelo encontrado en la literatura hasta este momento es *MODEVA* un modelo de evaluación adaptativa y personalizada mediante razonamiento probabilista; este modelo utiliza redes bayesianas e integra factores del perfil del estudiante tales como: gustos, preferencias, idioma, localización, estilos de aprendizaje etc. (Toledo et al., 2013), de la misma manera en la literatura se identifican alternativas para la construcción de *TAIs* utilizando algoritmos genéticos y árboles de decisión (Backhoff et al., 1996),(Toledo et al., 2013), lógica difusa (Chang and Ying, 2004). Pero ninguno de ellos considera el perfil cognitivo del estudiante.

## 1.7. Perfiles Cognitivos

Lo cognitivo es aquello que pertenece o está relacionado al conocimiento, el desarrollo cognitivo enfoca los procedimientos intelectuales y las conductas que emanan de estos procesos. Un perfil cognitivo se define como el conjunto de las propiedades intelectuales que rigen la conducta de una persona.

Enfocando estos conceptos a la educación, diremos que la capacidad que permite desarrollar conocimientos recibe el nombre de cognición. Es decir, se trata de la habilidad para

asimilar y procesar datos, valorando y sistematizando la información a la que se accede a partir de la experiencia, la percepción u otras vías.

Los procesos cognitivos, por tanto, son los procedimientos (operaciones mentales) que lleva a cabo el estudiante para incorporar nuevos conocimientos. En dichos procesos intervienen facultades muy diversas, como la inteligencia, la atención, la memoria y el lenguaje. Esto hace que los procesos cognitivos puedan analizarse desde diferentes disciplinas y ciencias.

## 1.8. Taxonomía de Bloom

La Taxonomía de Bloom o Taxonomía de Objetivos de la Educación es una clasificación de los objetivos de una acción educativa y sirve como punto de partida para el diseño de objetivos de aprendizaje. Los objetivos se clasifican en función de la dimensión a la que corresponden: dominio psicomotor, dominio afectivo y dominio cognitivo, siendo este último de nuestro interés. En el dominio cognitivo se distinguen 6 niveles se presentan en orden ascendente:

- **Saber:** conocer la terminología o hechos específicos, principios y generalizaciones, teorías y estructuras.
- **Entender:** entendimiento demostrativo de hechos e ideas por medio de la organización, traducción, la interpretación. Extrapolación.
- **Aplicar:** uso de conocimiento nuevo. Resolver problemas aplicando el conocimiento adquirido, hechos, técnicas y reglas.
- **Analizar:** analizar elementos, relaciones, principios de organización.
- **Sintetizar:** elaboración de un plan o conjunto de operaciones propuestas, derivación de un conjunto de relaciones abstractas.
- **Resolver:** presentación y defensa de opiniones

Esto se puede ver gráficamente en la Figura 1.5.

La Taxonomía de Bloom es jerárquica, esto significa que asume que el aprendizaje a niveles superiores depende de la adquisición del conocimiento y habilidades de ciertos niveles inferiores.

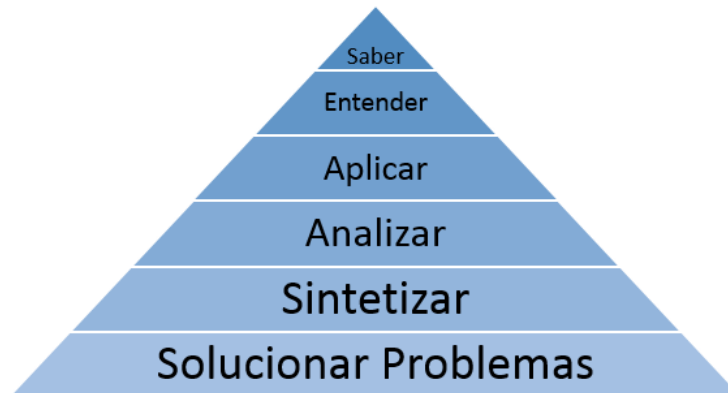


Fig. 1.5. Taxonomía de Bloom

Es por ello que para este proyecto de investigación se propone integrar los seis objetivos de la Taxonomía de Bloom en 3 grupos cognitivos y jerárquicos: entender, aplicar y solución de problemas, este último subdividido en *Solución de Problemas Simples (SPS)* y *Solución de Problemas Complejos (SPC)*.

- Entender = Taxonomía de Bloom: Saber y Entender.
- Aplicar = Taxonomía de Bloom: Aplicar y Analizar.
- Solución de Problemas = Taxonomía de Bloom: Sintetizar y Resolver.

La taxonomía propuesta se puede visualizar en la Figura 1.6.

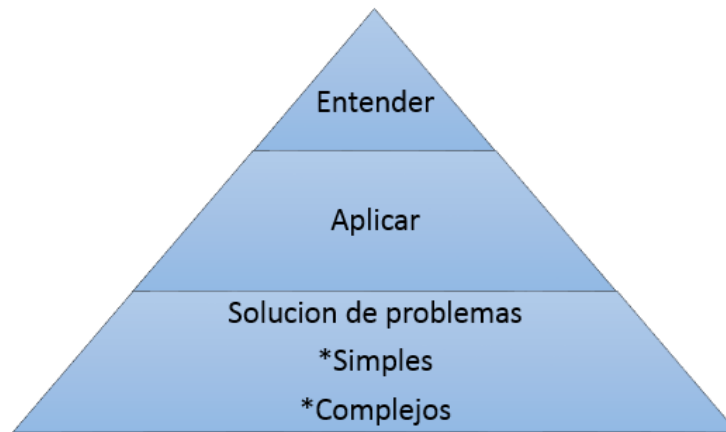


Fig. 1.6. Taxonomía Propuesta

---

## Capítulo 2

### Reactivos, Procesos y Niveles Cognitivos

---

En este capítulo se pretende introducir conceptos básicos de la *Teoría Clásica de los Test* y el análisis psicométrico de cada reactivo, es decir, se describen los procesos, contenido y niveles cognitivos de cada reactivo que conforman la prueba adaptativa.

Un examen es una prueba que se aplica para comprobar los conocimientos que posee una persona sobre determinado tópico. El término examen está relacionado con el concepto de evaluación, que se refiere a señalar, estimar, apreciar o calcular el valor de algo. En un examen los sustentantes demuestran fundamentalmente los aprendizajes cognitivos que adquieren durante un tiempo. Un examen está formado por tres componentes principales, las instrucciones, los reactivos y las respuestas.

#### 2.1. Reactivos

Un reactivo es una de las unidades, preguntas o tareas de las cuales está compuesto un instrumento psicométrico. Los reactivos representan procedimientos para obtener información acerca de los individuos, pero la cantidad y los tipos de información varían con la naturaleza de las tareas.

Los reactivos tienen la intención de provocar o identificar la manifestación de algún comportamiento, respuesta o calidad. El reactivo requiere que el examinado seleccione o identifique la respuesta correcta entre un grupo de ellas y, además, sea breve y no necesite de una justificación. Este tipo de pruebas permite medir conocimientos en diferentes niveles de pensamiento: entender, aplicar y resolver. En general son breves, explícitos y la calificación

está claramente determinada, libre de incertidumbre o error.

Los reactivos que se utilizarán para el desarrollo de este sistema, son reactivos calibrados con la *TCT* y la *TRI*, los parámetros que se consideran en el caso de la *TCT*, son el índice de dificultad, el índice de discriminación, el contenido específico y el nivel cognitivo al que pertenecen.

### 2.1.1. Dificultad del reactivo

El índice de dificultad de un reactivo se define como la proporción de examinados que lo aciertan del total de individuos que intentaron resolverlo. La ecuación 2.1 permite el cálculo de este índice, para el ítem  $i$ .

$$p_i = A_i/N_i \quad (2.1)$$

Donde:

- $A_i$  es el número de examinados que acertaron el reactivo  $i$
- $N_i$  el número de individuos que intentaron resolver el reactivo  $i$

A partir del valor hallado se determina que tan fácil o bien, que tan difícil es un ítem, conforme aumenta el valor numérico del índice, el ítem es más fácil. Normalmente en una prueba escrita, se definen intervalos de dificultad como se muestra en la Tabla 2.1

Tabla. 2.1. Intervalos de Dificultad Estándar

Intervalos	Dificultad	Porcentaje
0-0.32	Difícil	5 %
0.33-0.52	Medianamente difícil	20 %
0.53-0.73	Mediano	50 %
0.74-0.86	Medianamente fácil	20 %
0.87-1.00	Fácil	5 %

Juntos forman el 100 %. Para considerar la dificultad de los reactivos, se sabe que estadísticamente el 87 % de la población responde de forma correcta. Considerado a la distribución normal que se visualiza en la Figura 2.1.

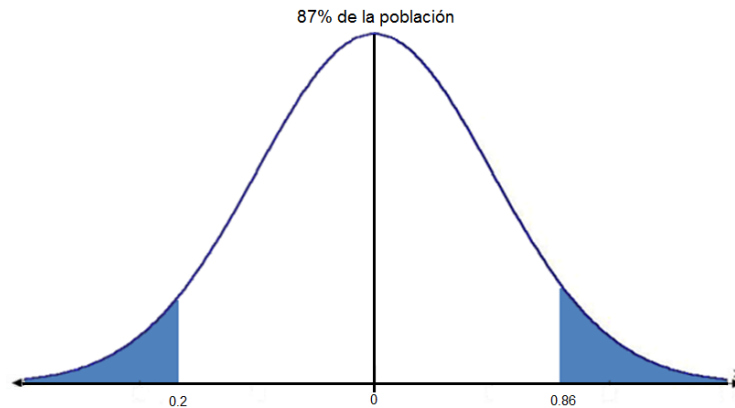


Fig. 2.1. Distribución Normal

Se descartan los intervalos difícil y fácil ya que no proporcionan información relevante, ya que los reactivos difíciles menores a 0,20 no dan información de la población pues casi nadie los responde y quien los responde generalmente dan una respuesta equivocada. En cuanto a los reactivos fáciles mayores a 0,87 no dan información de la población, en este caso casi toda la población lo responde correctamente.

Quedando los intervalos estadísticos, mostrados en la Tabla 2.2, que se utilizarán como base para este proyecto.

Tabla. 2.2. Intervalos de Dificultad

Dificultad	Intervalo
Difícil	0.20-0.45
Mediano	0.46-0.65
Fácil	0.65-86

### 2.1.2. Índice de discriminación

El índice de discriminación de un reactivo, debe distinguir entre los estudiantes que están bien preparados de los mal preparados. El valor de índice de discriminación independientemente del valor del índice de dificultad, permite determinar la calidad del reactivo, que puede ir desde conservarlo en el banco de reactivos hasta descartarlo por completo, la ecuación 2.2 permite su cálculo.

$$ID = (P_s - P_i) \tag{2.2}$$

Donde:

- $P_s$  es la proporción de examinados con puntajes altos que acertaron el reactivo  $i$
- $P_i$  es la proporción de examinados con puntajes bajos que acertaron el reactivo  $i$

## 2.2. Procesos Cognitivos

En el capítulo uno, se definió el concepto de proceso cognitivo y la taxonomía de bloom, como ya se menciona la taxonomía es jerárquica y se tomaran solo las siguientes categorías.

- Entender
- Aplicar
- Resolver

### 2.2.1. Entender

Un estudiante en esta categoría muestra su capacidad para comprender los conceptos y propiedades algebraicas. En la Tabla 2.3 se muestra un ejemplo con las características del reactivo.

Tabla. 2.3. Proceso Cognitivo: Entender

La expresión que permite obtener la distancia del origen al punto (a,b) es:	
(A) $a + b$	
(B) $b - a$	
(C) $a^2 - b^2$	
(D) $\sqrt{a^2 - b^2}$	
(E) $\sqrt{a^2 + b^2}$	
<b>Área</b>	Álgebra
<b>Contenido temático</b>	Distancia entre dos puntos
<b>Proceso cognitivo</b>	Entender
<b>Descripción</b>	Comprende el concepto a la propiedad o relación o relación involucrando en el problema: Distancia entre dos puntos, fórmula de Euclides
<b>Nivel de dificultad</b>	Difícil
<b>Índice de discriminación</b>	0.80
<b>Respuesta correcta:</b>	(E)

### 2.2.2. Aplicar

Un estudiante en esta categoría muestra su capacidad para utilizar operaciones o fórmulas que lo lleven a obtener la solución. En la Tabla 2.4 se muestra un ejemplo.

Tabla. 2.4. Proceso Cognitivo: Aplicar

Si $x = -1$ , ¿Cuál es el valor de $f(x) = x^2 + 1$ ?	
(A) -2	
(B) -1	
(C) 0	
(D) 1	
(E) 2	
<b>Área</b>	Álgebra
<b>Contenido temático</b>	Evaluación de funciones
<b>Proceso cognitivo</b>	Aplicar
<b>Descripción</b>	Realizar operaciones sustituyendo el valor de $x$ para llegar al resultado.
<b>Nivel de dificultad</b>	Mediano
<b>Índice de discriminación</b>	0.60
<b>Respuesta correcta:</b>	(E)

### 2.2.3. Resolver problemas simples o complejos

Un estudiante en esta categoría tiene la capacidad de plantear soluciones a problemas reales en dos categorías:

- **simples:** La solución es directa o requiere de uno o dos pasos u operaciones. En la Tabla 2.5 se muestra un ejemplo.

Tabla. 2.5. Proceso Cognitivo: Resolver Problema Simple

Judith desea subir al techo de su casa utilizando una escalera. Si la altura de su casa es 4m y la escalera se coloca en una pared de tal forma que su base esta a 2m ¿Cuál es la longitud de la escalera, si desea que se alcance el techo de la casa?	
(A) 4 (B) $\sqrt{6}$ (C) 8 (D) $\sqrt{20}$ (E) 20	
<b>Área</b>	Álgebra
<b>Contenido temático</b>	Teorema de Pitágoras
<b>Proceso cognitivo</b>	Resolver un problema simple
<b>Descripción</b>	Requiere realizar un dibujo con la escalera y la pared para después aplicar el Teorema de Pitágoras en la solución del problema.
<b>Nivel de dificultad</b>	Difícil
<b>Índice de discriminación</b>	0.80
<b>Respuesta correcta:</b>	(D)

- **compuestos:** Requiere construir un algoritmo o una serie de pasos que lleven a la solución. En la tabla 2.6 se muestra un ejemplo del reactivo.

Tabla. 2.6. Proceso Cognitivo: Resolver Problema Complejo

<p>Por pintar una casa dos pintores cobrarán \$480,00 y lo harán en 6 días. Si uno de ellos gana por día \$42,00, ¿Cuánto gana por día el segundo pintor?</p>	
<p>(A) 4 (B) <math>\sqrt{6}</math> (C) 8 (D) <math>\sqrt{20}</math> (E) 20</p>	
<b>Área</b>	Álgebra
<b>Contenido temático</b>	Operaciones básicas: suma, resta, división y multiplicación.
<b>Proceso cognitivo</b>	Resolver un problema complejo
<b>Descripción</b>	Problemas verbal de álgebra que involucren operaciones básicas: suma, resta, división y multiplicación.
<b>Nivel de dificultad</b>	Fácil
<b>Índice de discriminación</b>	0.50
<b>Respuesta correcta:</b>	(C)

## 2.3. Contenido y Niveles Cognitivos

El análisis psicométrico de cada reactivo está sustentado en la *TCT* y en la *TRI*, para el propósito de este trabajo se consideran únicamente los siguientes estadísticos, ya que han mostrado una mayor fortaleza en la predicción académica de los estudiantes.

- Contenido temático
- Proceso cognitivo
- Nivel de dificultad
- Índice de discriminación

A partir de estos estadísticos, es posible construir un perfil cognitivo de los estudiantes que presentan este tipo de reactivos en una prueba estandarizada. Este perfil está dividido en cuatro niveles cognitivos descritos a partir de la ejecución de los estudiantes en una prueba, permitiendo así, predecir el desempeño de los estudiantes en cualquier otra prueba hasta con un nivel de confianza del 83 % (Rodríguez, 2006).

Si bien los niveles pueden ser descritos para cualquier área de las matemáticas, como objetivo de este trabajo de tesis únicamente se presenta para el área concreta de álgebra. Un análisis similar conlleva a la creación de niveles cognitivos para otras áreas, o incluso, para una prueba de matemáticas en general.

La propuesta aquí dada es tomada de las pruebas aplicadas durante el Seminario de Orientación que la *BUAP* ofrece a estudiantes del nivel medio superior que están interesados en ingresar a esta máxima casa de estudios, no obstante, estos resultados han mostrado su eficacia en los estudiantes que han sido aceptados, mostrando un mejor rendimiento en comparación con aquellos estudiantes que no lo toman (Carrasco Romo, 2011).

### 2.3.1. Contenido específico

Como se dijo antes, el área a considerar es el álgebra y el contenido específico considerado se detalla a continuación. Si bien este contenido es el más representativo del álgebra, en ningún momento se considera exhaustivo, la finalidad solo es ejemplificar el proceso que se realiza

en la construcción de nuestro sistema y que puede ser mejorado al incrementar los reactivos que agoten toda el área de álgebra, sin embargo, por cuestiones de tiempo y espacio se ha tenido que delimitar a estos contenidos específicos.

1. Operaciones básicas de números reales.
2. Propiedades de los números enteros.
3. Razones y proporciones.
4. Propiedades de los exponentes enteros.
5. Operaciones con radicales.
6. Ecuaciones de primer orden en una variable.
7. Ecuaciones de segundo orden en una variable.
8. Factorización y Factor común.
9. Diferencia de cuadrados.
10. Desigualdades de primer orden en una variable.
11. Desigualdades de segundo orden en una variable.
12. Evaluación de expresiones algebraicas.
13. Funciones algebraicas.
14. Sistemas de ecuaciones lineales en dos variables.
15. Problemas de álgebra.

### **2.3.2. Niveles cognitivos**

A partir de la categorización de los procesos cognitivos y del contenido específico de cada reactivo se construyen los niveles cognitivos, que nos dan una radiografía de los estudiantes

---

según los puntajes obtenidos en el área y las respuestas ofrecidas a cada uno de los reactivos contenidos en la prueba.

De acuerdo con un análisis de Cluster realizado al puntaje de reactivos del banco correspondiente a Álgebra ([Sokal, 1958](#)), se encontraron los niveles mostrados en la Tabla 2.7.

Tabla. 2.7. Niveles de Desempeño

Nivel Cognitivo	Puntaje
I	200-360
II	361-500
III	501-670
IV	671-800

Como se dijo anteriormente, los niveles cognitivos son categóricos, lo que conlleva a que un estudiante ubicado en el nivel III, también realiza lo especificado en los niveles inferiores.

### 2.3.2.1. Nivel I

El alumno entiende las propiedades de los números enteros positivos. Entiende el concepto de factor común en una expresión algebraica. Conforme su puntaje se aproxima a la frontera, aplica operaciones básicas como la suma, la resta, la multiplicación y división de números reales.

### 2.3.2.2. Nivel II

El alumno entiende la conformación de los patrones en expresiones algebraicas. Puede solucionar una ecuación de primer orden en una variable. Halla la solución de una ecuación de segundo orden. Aplica sustituciones para evaluar expresiones algebraicas. Realiza la evaluación de funciones sencillas en un número dado y entiende el concepto de distancia para puntos de la forma  $(a, 0)$ . Conforme aumenta su puntaje, halla la solución de una desigualdad de primer orden. Si su puntaje está cerca de la frontera, es capaz de resolver problemas simples que involucran operaciones básicas como la suma, la resta, la multiplicación y división de números reales y aplica el concepto de inversos multiplicativos para encontrar la solución de una expresión algebraica.

### 2.3.2.3. Nivel III

El alumno resuelve problemas que involucran desigualdades de segundo orden y problemas que involucran ecuaciones de segundo orden, entiende las propiedades de los números negativos para establecer relaciones. Aplica la factorización de la diferencia de cuadrados para encontrar un valor. Halla la solución de un sistema de ecuaciones lineales en dos variables. Además conforme su puntaje aumenta aplica el teorema de Pitágoras. Aplica los conceptos de razones y proporciones puede hallar la solución de un sistema de ecuaciones lineales en dos variables.

#### 2.3.2.4. Nivel IV

El alumno puede transformar una expresión algebraica en otra para encontrar un valor. Resuelve problemas que requieren del factor común en una expresión algebraica. Encuentra las soluciones negativas de una desigualdad de segundo orden en una variable y aplica operaciones básicas para definir nuevas operaciones sobre los números reales. Además conforme su puntaje aumenta resuelve problemas relacionados con el teorema de Pitágoras y problemas simples que involucran razones y proporciones. Además, resuelve un problema planteando un sistema de ecuaciones lineales en dos variables y problemas complejos que involucran ecuaciones de segundo orden.

Finalmente, el sistema que se propone desarrollar permitirá que un estudiante sea radiografiado de manera mucho más exacta. Esto porque cada uno de los reactivos ha sido ubicado en los estadísticos antes mencionados, permitiendo así una concatenación de los contenidos específicos y los procesos cognitivos de cada uno de los reactivos contestados por el estudiante, desde luego considerando el puntaje tanto de cada reactivo, como el puntaje global obtenido por el estudiante.

---

## Capítulo 3

### Metodología para la Implementación de un TAI

---

En el capítulo uno se introdujó el concepto de test adaptativo informatizado, describiendo sus componentes y el proceso de generación de un *TAI*, en este capítulo se describirá la metodología para la construcción de un *TAI*.

Se denomina metodología a la serie de métodos y técnicas de rigor científico que se aplican sistemáticamente durante un proceso de investigación para alcanzar un resultado teóricamente válido. En este sentido, la metodología funciona como el soporte conceptual que rige la manera en que se aplican procedimientos en una investigación o en este caso el desarrollo e implimentación de una prueba adaptativa.

Para cubrir este objetivo, se utilizará un proceso que comprende las siguientes fases para la construcción de un *TAI* ([Pinsach and Diéguez, 1999](#)).

- Planificación y prospección de un *TAI*.
- Producción y calibración del Banco de Ítems.
- Implementación y ejecución de un *TAI*.
- Explotación y gestión de un *TAI*.
- Fiabilidad y validez del *TAI*.

A continuación se describirán cada una de las fases, detallando datos del sistema de evaluación a implementar.

## 3.1. Planificación y Prospección del TAI

En esta fase se establece y define el objetivo al que se pretende llegar con la implementación de un *TAI*, es decir, saber que datos se pretenden obtener de la evaluación de los sustentantes, así como, la planificación completa del *TAI*. Se define la población a evaluar, el formato y estructura de los ítems. Lo más usual es que los ítems utilizados sean un *Banco de Ítems Calibrados (BIC)*. También se deben considerar los costos y beneficios, considerando que una medida clave de eficiencia converge en un ahorro de un 50% de tiempo aproximado por examinado a favor de los *TAIs* frente a los test de lápiz y papel (Gil et al., 2000).

### 3.1.1. Objetivo final

Aportar un perfil cognitivo al resultado de evaluaciones en procesos de admisión, contribuir una forma de analizar las características que posee el estudiante, midiendo para este caso las habilidades de razonamiento matemático en álgebra para alumnos que hayan concluido su instrucción media superior, proporcionando una garantía del buen desempeño a lo largo de su estadía en una institución de educación superior.

### 3.1.2. Población a evaluar

La población es el conjunto total de individuos, objetos o medidas que poseen algunas características comunes observables en un lugar y momento determinado.

La población a estudiar en este proyecto consta de estudiantes que han concluido su instrucción del nivel medio superior y aspiran a cursar un instrucción superior.

### 3.1.3. Formato y estructura de los ítems

En esta fase se debe determinar el tipo de reactivos que serán manejados por el test, los más comunes son los de tipo *BIC (Banco de ítems calibrados)*, unidimensionales y de opción múltiple que para ser calificados se vuelven dicotómicos, si la respuesta es incorrecta 0 y 1 si es correcto.

Para este sistema cada reactivo se integra con los siguientes elementos:

1. Enunciado del problema o ítem
2. Cinco opciones de respuesta
3. Una clave
4. Contenido específico
5. Proceso Cognitivo
6. Nivel de dificultad
7. Nivel de desempeño
8. Puntaje

### **3.1.4. Costos y beneficios**

Se debe considerar que la implementación de un *TAI* reduce costos y proporciona beneficios, se debe considerar que una medida clave de eficiencia converge en un ahorro de un 50% de tiempo aproximado por examinado a favor de los *TAIs* frente a los test de lápiz y papel(Olea and Ponsoda, 1998).

#### **Costos:**

- Al ser una prueba que se realiza en un equipo de computo, se proporciona una reducción de papel y otros elementos de materia prima a la hora de realizar un examen.
- Solo se necesita una persona que supervise el examen, con esto se reduce el recurso humano.

#### **Beneficios**

- No se requiere que las pruebas sean de larga duración o de gran extensión.
- Se conoce en tiempo real el puntaje obtenido y el nivel de desempeño asociado.

## 3.2. Producción y Calibración del banco de Ítems

En esta fase del procedimiento, el objetivo es crear una colección amplia de reactivos de forma estandarizada.

### 3.2.1. Banco de ítems

El banco de ítems a utilizar esta calibrado bajo los supuestos de las teorías *TCT* y *TRI*, se encuentran clasificados estadísticamente en intervalos.

Este sistema de evaluación utilizará reactivos probados y calibrados en eventos reales con muestras que superan 10,000 alumnos quienes contestaron pruebas escritas de Razonamiento Matemático.

La *Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP)*, desde el año 1993 ha empleado la *Prueba de Aptitud Académica (PAA)* como instrumento de selección de los aspirantes a ingresar a alguno de sus programas.

La *PAA* es un instrumento que consta de tres pruebas (Razonamiento Verbal, Razonamiento Matemático y Evaluación Indirecta de la Redacción) diseñado y elaborado por *The College Board Puerto Rico* para poblaciones cuya lengua materna es el español ([Digitales et al., 2014](#)).

En el año de 1999 a través del departamento de innovación e investigación educativa de la dirección de desarrollo e integración estudiantil se diseña y elabora el seminario de orientación para el examen de admisión bajo un modelo educativo novedoso.

Este programa prepara a estudiantes para que enfrenten con éxito la *PAA*, dentro del desarrollo e implementación del seminario, se prepara un pretest y un postest (llamadas *Prácticas de Ejercitación Inicial (PEI)* y *Prácticas de Ejercitación Final (PEF)*), similares a la *PAA* que incorporan todas sus cualidades psicométricas ([Digitales et al., 2014](#)).

El banco de reactivos de este sistema, se alimentará con reactivos que han sido desarrollados y probados en las *Pruebas de Ejercitación (PE)* del seminario de orientación. Estos reactivos han sido revisados detalladamente por el equipo de académicos que desarrolla el área de razonamiento matemático.

Los reactivos han sido calibrados, lo que permitió obtener su índice de dificultad y de

discriminación. Igualmente, se ha determinado el área de conocimiento a la que pertenece y cuál es la estrategia sugerida para ser resuelto, así como, el nivel cognitivo y el puntaje óptimo requerido para ser contestado correctamente.

### **3.2.2. Integración de reactivos**

Es importante contar con una estructura computacional que permita el almacenamiento y la concentración de los reactivos para integrarlos al sistema de evaluación.

Una base de datos proporciona una herramienta idónea para almacenar, actualizar y recuperar datos de una manera rápida y tener a disposición información precisa y actualizada.

Para el desarrollo de este proyecto los reactivos se alojan en una base de datos, utilizando Mysql como sistema gestor de base de datos, que es compatible con el software de aplicación, que permite la implementación total del sistema.

## **3.3. Implementación y Ejecución del TAI**

En esta fase se diseña y desarrolla un sistema para la aplicación del test, que permita la administración de los items; inicio, continuación y final de la prueba, así como, los resultados obtenidos de ella.

Para poder llevar a cabo la implementación de un sistema es indispensable recurrir a una de las metodologías de desarrollo de software diseñadas para este fin.

El sistema de evaluación será desarrollado bajo el modelo de desarrollo de software en cascada con algunas modificaciones, ya que la implementación del software debe ser rigurosa para poder determinar cierto nivel de calidad en el producto final.

Un aspecto específico a tratar es la construcción de un algoritmo que permita seleccionar el siguiente mejor reactivo a mostrar, parte central del desarrollo de este sistema. La definición de algoritmo más generalizada es un conjunto de instrucciones o acciones ordenadas y sistemáticas que dan solución a un problema. Este algoritmo, permitirá la administración del test.

### 3.4. Explotación y Gestión del TAI

Una vez elegido el procedimiento de administración de la prueba más adecuado, es necesario buscar un ambiente de tranquilidad, espacio en el que se ejecutará la prueba.

Esta fase tiene como objetivos:

Establecer parámetros para la aplicación del *TAI*.

- Espacio físico donde se aplicará la prueba.
- Definir las instrucciones.
- Especificar la mecánica del examen

### 3.5. Mantenimiento y Renovación del TAI

El mantenimiento tanto del *TAI* como del banco de items comienza en su misma explotación. muchos proyectos terminan en la fase cinco.

Para que un *TAI* llegue a esta fase solo existen dos opciones:

1. Se busca actualizar los parámetros de los reactivos
2. Se encuentra algún reactivo defectuoso

---

## Capítulo 4

### Implementación del Sistema de Evaluación

---

El caso de estudio planteado en este trabajo de investigación consiste en desarrollar un software que sirva para evaluar habilidades de razonamiento matemático, se utilizará una metodología de software que permita la implementación de un sistema que permita la administración de reactivos, que se irán presentando a un estudiante, a través de una interfaz amigable e intuitiva, proporcionando un puntaje y un perfil de desempeño del sustentante.

Para el desarrollo del sistema se considera una metodología rigurosa basada en el ciclo convencional del desarrollo de software, ya que esta metodología permite ver terminada cada etapa del ciclo de vida del software antes de comenzar la etapa siguiente. Cada etapa tiene un conjunto de metas bien definidas y las actividades dentro de cada una contribuyen a satisfacerlas.

#### 4.1. Análisis de los Requisitos del Software

Debido a que el desarrollo de software se hace por módulos y cada modulo forma siempre un sistema mayor, el trabajo comienza estableciendo los requisitos de todos los elementos del sistema y luego asignando algún subconjunto de estos requisitos al sistema completo.

En esta etapa serán detallados los requerimientos básicos para el funcionamiento del sistema.

1. Se requiere el diseño de una interfaz intuitiva para el usuario.
2. Para acceder al sistema se debe solicitar un login y un password, que permita ver las

acciones que podrá realizar el usuario administrador y el usuario estudiante.

3. Los usuarios deben poder registrarse para realizar un examen.
4. Antes de realizar la prueba, el usuario podrá visualizar las instrucciones del examen para una mayor información al momento de realizarlo.
5. Los reactivos serán presentados de manera individual, mostrando sus opciones de respuesta y un botón que permita ir al siguiente reactivo.
6. El sistema debe proporcionar como dato de salida una tabla que contenga el perfil cognitivo del sustentante y el puntaje obtenido en la prueba.
7. Se requiere diseñar e implementar una base de datos que administre el banco de reactivos calibrados.
8. Se necesita diseñar un módulo que administre la comunicación cliente servidor de la base de datos con la interfaz para el usuario, así como, procesar un algoritmo de selección de reactivos.
9. Diseñar e implementar un algoritmo que administre los reactivos y seleccione el siguiente mejor reactivo.

La interfaz debe ser intuitiva para el usuario, debe contener información que sirva como guía al usuario al momento de utilizar el sistema, contener colores que proyecten seguridad y tranquilidad al usuario, en el caso de la interfaz principal deberá pedir el usuario y contraseña para acceder al sistema.

### **Rol Administrador**

El administrador será aquel que podrá ingresar y modificar los datos de entrada del sistema.

- Registrar a los usuarios
- Administrar la base de datos
- Visualizar resultados

## Rol Estudiante

El estudiante tendrá un acceso restringido.

- Registrar
- Realizar test
- Visualizar resultados

En la Figura 4.1 se visualiza el diagrama de caso de uso: Roles del sistema.

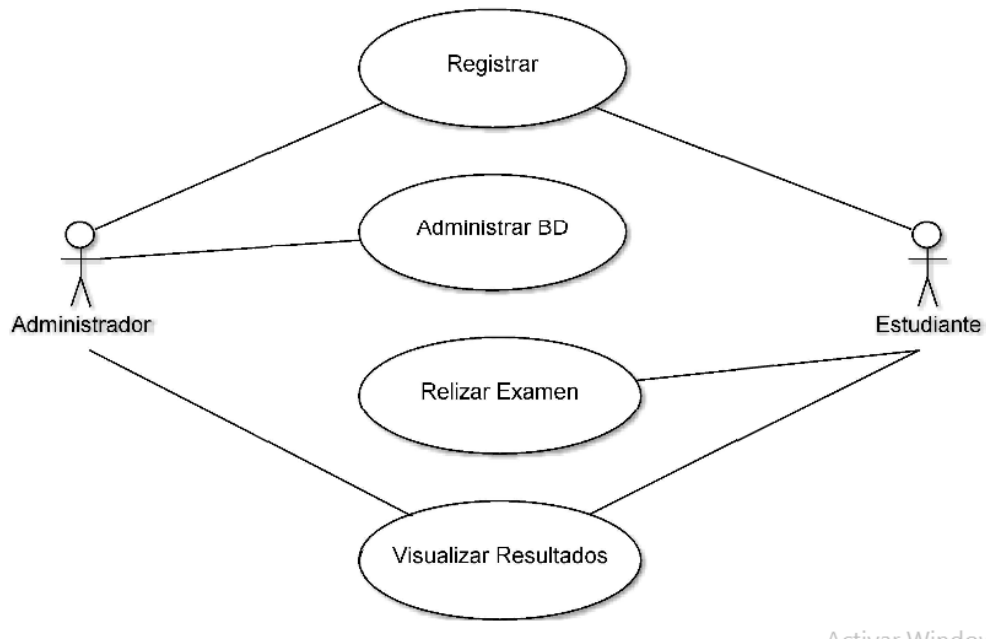


Fig. 4.1. Diagrama Caso de uso: Roles del Sistema

## 4.2. Diseño del Sistema de Evaluación

El diseño de software es el proceso mediante el cual se traducen los requisitos del sistema en modelos que permitan visualizar de manera detallada y gráfica las funcionalidades del sistema.

El proceso como ya se ha mencionado consiste en dividir en componentes del software denominados módulos. En esta fase, el análisis de los requerimientos proporciona la facilidad de especificar los módulos que conforman el sistema.

**Modulo 1:** Requisitos funcionales y no funcionales

**Modulo 2:** Base de Datos

**Modulo 3:** Arquitectura de software

**Modulo 4:** Diseño del algoritmo

#### **4.2.1. Requisitos funcionales y no funcionales**

Los requerimientos, requisitos, propiedades o restricciones determinadas de forma precisa de un sistema, describen los servicios que ha de ofrecer y las restricciones asociadas a su funcionamiento.

Los requerimientos funcionales expresan como interacciona el sistema con su entorno y cuales serán sus estados y funcionamiento del sistema, los no funcionales son las restricciones sobre el espacio de las posibles soluciones, en otras palabras los requisitos funciones definen que debe hacer un sistema y los no funcionales definen como debe ser el sistema.

Los casos de uso describen el modo en que un actor interactúa con el sistema, narran el comportamiento dinámico del sistema desde el punto de vista del actor y pueden expresar tanto requerimientos funcionales como no funcionales.

En esta sección mediante casos de uso se modelará el comportamiento del sistema. En la Tabla 4.1 se muestra el caso de uso para registrar usuarios, en la Tabla 4.2 el caso de uso se muestra el proceso de administrar una base de datos, en la Tabla 4.3 se muestra el caso de uso de realizar el examen y en la Tabla 4.4 se puede visualizar el proceso para ver los resultados de un examen realizado.

Tabla. 4.1. Caso de Uso: Registrar Usuarios

<b>Caso de uso</b>	Registrar Usuarios
<b>Actores</b>	Administrador, Estudiante
<b>Propósito</b>	Permite el registro de los usuarios que quieran utilizar el sistema
<b>Descripción</b>	Este caso de uso se ejecuta cuando un usuario quiere registrarse en la plataforma
<b>Acción del actor</b>	Respuesta al sistema
El usuario digita su nombre, apellidos, usuario y contraseña	El sistema debe validar que los datos concuerden
<b>Caso alternativo</b>	El correo no es valido, datos incorrectos

Tabla. 4.2. Caso de Uso: Administrar BD

<b>Caso de uso</b>	Administrar BD
<b>Actores</b>	Administrador
<b>Propósito</b>	Permite visualizar, actualizar, guardar o restaurar la BD
<b>Descripción</b>	Este caso de uso se ejecuta cuando el administrador quiere modificar o consultar la base de datos
<b>Acción del actor</b>	Respuesta al sistema
El administrador hace clic sobre la opción consultar bd	El sistema muestra en la pantalla la base de datos.
<b>Caso alternativo</b>	Si el usuario y contraseña no son correctos el sistema no muestra esta opción.

Tabla. 4.3. Caso de Uso: Realizar Test

<b>Caso de uso</b>	Realizar test
<b>Actores</b>	Estudiante
<b>Propósito</b>	Permite a los usuarios el acceso a la aplicación para realizar el examen
<b>Descripción</b>	Este caso de uso se ejecuta cuando un usuario quiere acceder a realizar la prueba en la plataforma
<b>Acción del actor</b>	Respuesta al sistema
El usuario realiza el examen	El sistema muestra las preguntas para que el usuario realice el examen

Tabla. 4.4. Caso de uso: Visualizar Resultados

<b>Caso de uso</b>	Visualizar Resultados
<b>Actores</b>	Administrador, Estudiante
<b>Propósito</b>	Ver los resultados de los test
<b>Descripción</b>	Este caso de uso de ejecuta cuando el estudiante o administrador quiere ver los resultados y puede visualizarlos por pantalla.
<b>Acción del actor</b>	Respuesta al sistema
Visualizar los resultados	El sistema retorna los datos en la pantalla.
<b>Caso alternativo</b>	Si no existe registro del examen, el sistema no muestra nada.

### 4.2.2. Base de datos

Una base de datos es el conjunto de datos informativos organizados en un mismo contexto para su uso y inoculación. Para la implementación de este módulo se requiere tener el modelado de datos que permita representar las entidades relevantes de un sistema de información, así como, sus interrelaciones y propiedades.

Se requiere una base de datos que almacene los siguientes elementos:

- Una tabla que almacene los datos de los usuarios
- Una tabla para asignar los roles de los usuarios
- Una tabla para almacenar los reactivos
- Una tabla para cada atributo del reactivo
- una tabla que almacene los exámenes realizados

### 4.2.3. Arquitectura de software

De acuerdo al *Software Engineering Institute (SEI)*, la arquitectura de software se refiere a las estructuras de un sistema, compuestas de elementos con propiedades visibles de forma externa y las relaciones que existen entre ellos ([Bass et al., 2003](#)). Los elementos pueden ser entidades que existen en tiempo de ejecución (objetos, hilos), entidades lógicas que existen en tiempo de desarrollo (clases, componentes) y entidades físicas (nodos, directorios).

Por otro lado las relaciones entre elementos dependen de propiedades visibles de los elementos quedando ocultos los detalles de implementación. Finalmente, cada conjunto de elementos relacionados de un tipo particular corresponde a una estructura distinta, de ahí que la arquitectura está compuesta por distintas estructuras.

En esta etapa se tienen estructuras que componen la arquitectura. La creación de estas estructuras se hace en base a patrones de diseño, tácticas de diseño y elecciones tecnológicas. El diseño que se realiza debe buscar ante todo satisfacer los requerimientos que influyen al sistema.

#### 4.2.3.1. Arquitectura cliente servidor

Los orígenes de la arquitectura cliente servidor se basan en los sistemas de paso de mensajes. Los datos representados en formas de mensajes, se intercambian entre dos procesos, un emisor y un receptor. Un proceso envía un mensaje que representa una petición. El mensaje se entrega a un receptor que procesa la petición y envía un mensaje como respuesta. En secuencia la réplica puede disparar posteriores peticiones, que llevan a nuevas respuestas, sucesivamente.

De acuerdo con la complejidad de la arquitectura utilizada, los sistemas cliente servidor se clasifican en arquitecturas monolíticas, de dos capas y arquitecturas de tres capas, siendo esta última la arquitectura a desarrollar.

En la arquitectura de tres capas en general, en la arquitectura multicapa, el cliente implementa la lógica de presentación (cliente fino), el servidor o servidores de aplicación implementan la lógica de negocio y los datos residen en uno o varios servidores de bases de datos.

Figura 4.2.

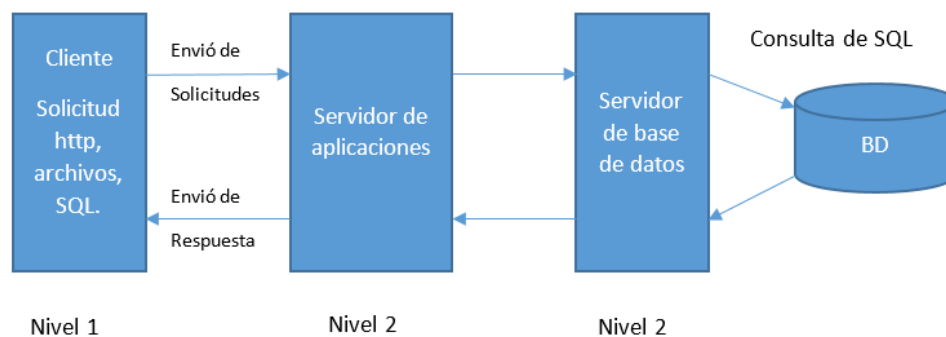


Fig. 4.2. Arquitectura Cliente Servidor: 3 Niveles

Una arquitectura multicapa se define por tanto por las tres capas de componentes siguientes:

- Un componente Front-end que es el responsable de proporcionar la lógica de presentación.
- Un componente Back-end que proporciona acceso a servicios dedicados, tales como un servidor de bases de datos.

- Un componente que hace las funciones de capa intermediaria (middl tier) que permite a los usuarios compartir y controlar la lógica de negocio mediante su aislamiento de la aplicación real.

### **Componente Front-end**

El componente Front-end proporciona la presentación del sistema, trabaja del lado del cliente principalmente se ocupa de los componentes externos de un sitio web o de una aplicación web. Como requisito obligatorio el desarrollo Front-end involucra el conocimiento de lenguajes como:

- HTML: HyperText Markup Language, es el componente estructural clave de todas las webs de internet. Sin él las páginas web no pueden existir.
- CSS: Cascading Style Sheets, es lo que le proporciona estilo a HTML.
- JavaScript: Usando solo HTML y CSS las webs serían páginas estáticas, con JS las páginas web son interactivas.

En general los principios de este componente son el diseño y la estructura de páginas, sin olvidar la usabilidad y la legibilidad de la página o de la aplicación web, considerando que esta parte se ejecuta del lado del cliente, la mayoría de los casos en un navegador, aunque la información no sea almacena por el.

En la Figura 4.3, se muestra la interfaz principal del sistema de evaluación que utiliza todos los recursos anteriormente detallados.

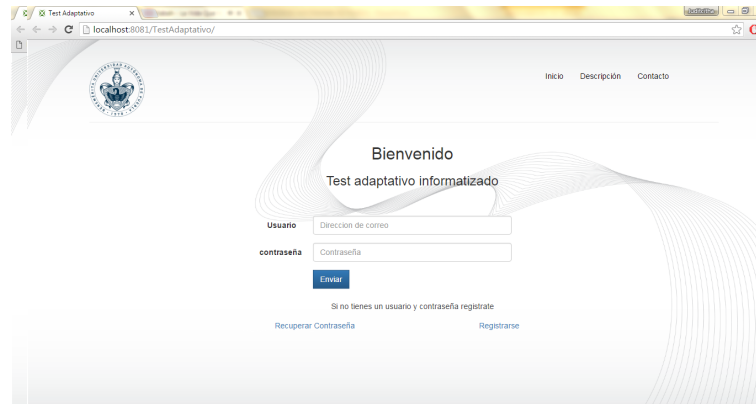


Fig. 4.3. Interfaz Principal

## Componente back - end

El componente Back-end proporciona el acceso a servicios dedicados, trabaja del lado del servidor, para desarrollar este componente son numerosos los lenguajes y los frameworks entre los que se debe elegir, todo depende de los requisitos del sistema.

Los más comunes son:

- ASP.NET: es la plataforma de desarrollo web de Microsoft. Muy utilizada en empresas. Tiene las variantes Web Forms y MVC.
- PHP: es un lenguaje de código abierto, adecuado para desarrollo web y que puede ser incrustado en html.
- Python: fácil de aprender. Usado a menudo con Django como framework.
- Node.js: se está haciendo cada vez más popular debido a que usa el mismo lenguaje que en el lado cliente: JavaScript.
- Spring: es un framework de código abierto de desarrollo de aplicaciones para la plataforma java.

Sin embargo, no es suficiente con dominar un lenguaje y un framework. Toda aplicación web debe almacenar datos de alguna manera. Por lo tanto, el desarrollo back-end también debe estar familiarizado con las bases de datos.

Entre las más comunes destacan:

- SQL Server: sistema de gestión de bases de datos relaciones de Microsoft.
- MySQL: es un sistema de administración de base de datos relacional, multihilo y multiusuario. De código abierto.
- PostgreSQL: es un sistema de gestión de bases de datos relacional orientado a objetos, libre, publicado bajo la licencia PostgreSQL
- MongoDB: que es un almacén de datos no-relacional o NoSQL.

Para la implementación de la base de datos del sistema de evaluación se eligió MySQL 5.5 como sistema gestor de bases de datos. El modelo relacional de la base de datos se visualiza en la Figura 4.4.

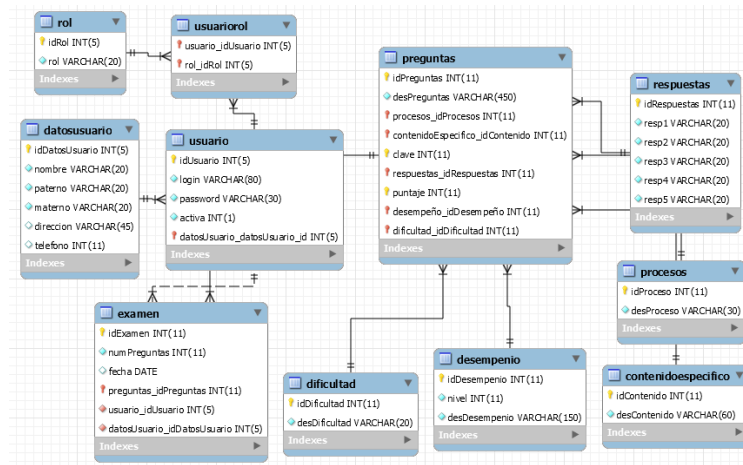


Fig. 4.4. Modelo Relacional

## Capa Intermedia

Una arquitectura multicapa aumenta a la arquitectura Cliente - Servidor tradicional mediante la introducción de uno o más componentes intermedios. El sistema cliente interactúa con la capa intermedia vía un protocolo estándar como HTTP o RPC (Remote Procedure Call).

La capa intermedia interactúa con el servidor de datos (back-end) mediante protocolos de bases de datos estándar tales como SQL, ODBC y JDBC. Esta capa intermedia contiene la mayor parte de la lógica de la aplicación, traduciendo las llamadas del cliente en consultas (u otras acciones) a la base de datos y traduciendo los datos provenientes de la base de datos en datos del cliente para devolvérselos.

Esta posición de la lógica de negocio sobre el servidor de aplicaciones proporciona escalabilidad y aislamiento de la lógica de negocio con el fin de manejar rápidamente los cambios necesarios que se presenten. Además, este hecho permite ampliar las opciones en lo que se refiere a la elección de un software propietario de bases de datos.

#### 4.2.3.2. Framework

Un Framework es una plataforma, entorno, marco de trabajo, conjunto estandarizado de conceptos, prácticas y criterios para resolver un problema. Desde el punto de vista del desarrollo de software, un framework es una estructura de soporte definida, en la cual otro proyecto de software puede ser organizado y desarrollado.

Entre algunas ventajas se encuentran el soporte de programas, bibliotecas, lenguaje scripting, software para desarrollar y unir diferentes componentes de un proyecto de desarrollo de programas. Facilitar el desarrollo de software, evitar los detalles de bajo nivel. Permitiendo concentrar más esfuerzo y tiempo en identificar los requerimientos de software.

Para la elección del software a utilizar para el desarrollo del sistema, se debe considerar la compatibilidad con el gestor de base de datos y el diseño web, fue necesario hacer una amplia investigación en la literatura para encontrar tecnología que facilitará la implementación.

**Spring** Spring es un framework de código abierto de desarrollo de aplicaciones que opera sobre la plataforma Java. Este framework propone un conjunto de conceptos, técnicas y una metodología de programación para el desarrollo de ampliaciones informáticas de alta calidad.

Spring Framework comprende diversos módulos que proveen servicios, entre ellos están:

- **Contenedor de inversión de control:** permite la configuración de los componentes de aplicación y la administración del ciclo de vida de los objetos Java, se lleva a cabo principalmente a través de la inyección de dependencias.
- **Acceso a datos:** se trabaja con RDBMS en la plataforma java, usando Java Database

Connectivity y herramientas de Mapeo objeto relacional con bases de datos NoSQL.

- **Framework de acceso remoto:** Permite la importación y exportación estilo RPC, de objetos Java a través de redes que soporten RMI, CORBA y protocolos basados en HTTP incluyendo servicios web (SOAP).
- **Autenticación y Autorización:** procesos de seguridad configurables que soportan un rango de estándares, protocolos, herramientas y prácticas a través del subproyecto Spring Security (antiguamente Acegi).
- **Modelo vista controlador:** Un framework basado en HTTP y servlets, que provee herramientas para la extensión y personalización de aplicaciones web y servicios web REST.

#### 4.2.3.3. Modelo vista controlador (MVC)

Es un estilo de arquitectura de software que separa los datos de una aplicación, la interfaz de usuario y la lógica de control en tres componentes distintos.

1. Modelo
2. Vista
3. Controlador

#### Modelo

Es la representación específica de la información con la cual el sistema opera. Es responsable de acceder a la capa de almacenamiento de datos, de dar funcionalidad del sistema, llevar un registro de las vistas y controladores del sistema, si estamos ante un modelo activo, notificara a las vistas los cambios que en los datos pueda producir un agente externo por lotes que actualiza los datos, un temporizador.

## Vista

La vista o interfaz de usuario compone la información que se envía al cliente y los mecanismos interacción con este. Es responsable de recibir datos del modelo y los muestra al usuario. Tienen un registro de su controlador asociado. Pueden dar el servicio de actualización para que sea invocado por el controlador o por el modelo.

## Controlador

Actúa como intermediario entre el modelo y la vista, gestionando el flujo de información entre ellos las transformaciones para adaptar los datos a las necesidades de cada uno. Es responsable de recibir los eventos de entrada, contiene reglas de gestión de eventos, estas acciones pueden suponer peticiones al modelo o a las vistas.

## Ventajas de utilizar el modelo MVC

- Al realizar un cambio de base de datos, programación o interfaz de usuario solo tocamos uno de los componentes.
- Se puede modificar uno de los componentes sin conocer como funcionan los otros.
- Clara separación entre interfaz, lógica de negocio y de presentación.

Su funcionamiento lo podemos observar de manera gráfica en la [Figura 4.5](#)

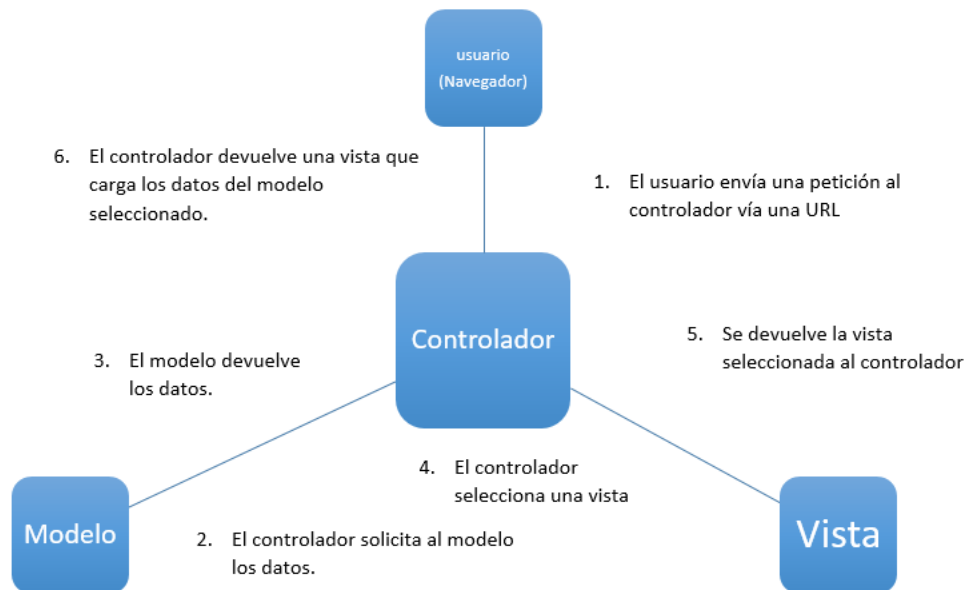


Fig. 4.5. Modelo Vista Controlador

#### 4.2.3.4. Arquitectura del sistema de Evaluación

Para el desarrollo del sistema, considerando todos los detalles descritos anteriormente, en la Figura 4.6 se muestra el diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de evaluación, y se visualiza el modelo que ilustra la arquitectura del sistema de evaluación, Figura 4.7 , quedando como único punto faltante a desarrollar, el algoritmo de selección de reactivos.

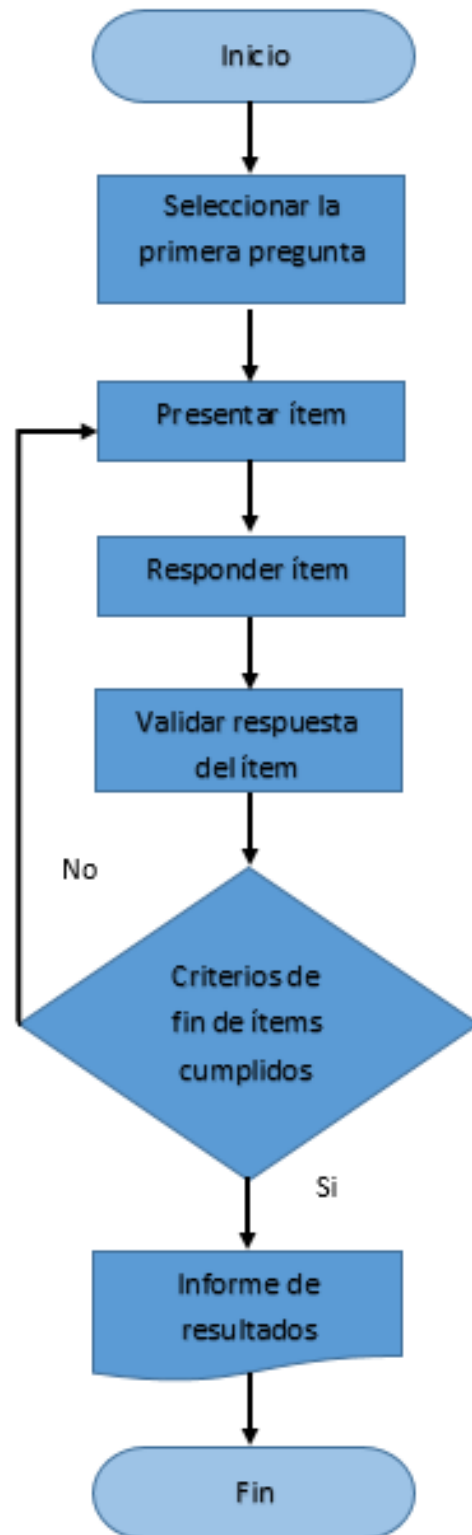


Fig. 4.6. Diagrama de Flujo: Funcionamiento del Sistema

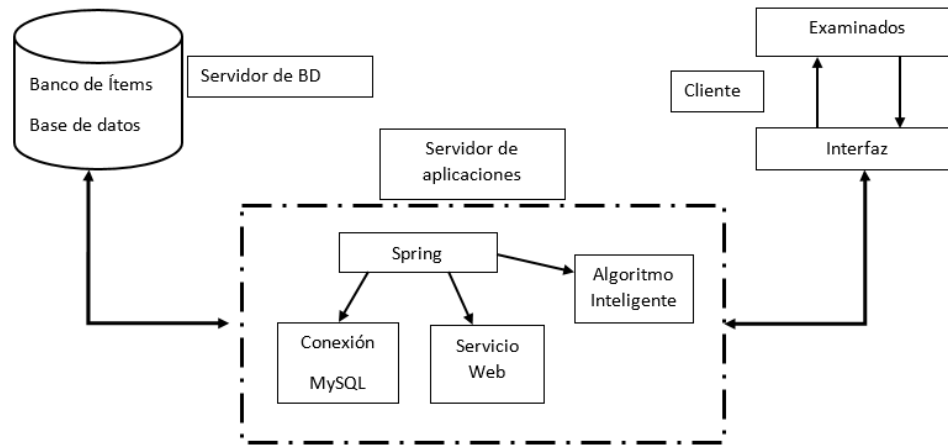


Fig. 4.7. Arquitectura del Sistema de Evaluación

#### 4.2.4. Selección del algoritmo Adaptativo

Parte importante y fundamental del mecanismo de un *TAI* es la elección de un algoritmo adaptativo que administre el inicio, la continuación y el final del test. Para el desarrollo del algoritmo es importante mencionar que existen diferentes maneras de combinar estos momentos y cada una de las combinaciones significa una u otra forma de establecer la evaluación. (Gil et al., 2000), (Díaz et al., 1999).

Con el paso del tiempo han evolucionado los sistemas que proporcionan estrategias adaptativas para un test, de mecanismos rígidos a otros mucho más flexibles.

Existen tres procedimientos característicos para realizar una prueba.

1. **Binivel:** Se pasa al sujeto una serie de ítems empezando por un reactivo fácil y acabando con uno de mayor dificultad. Esta serie de ítems formarán lo que se denomina primer nivel y deben aclarar la zona delimitada entre el último acierto y el primer error. Después se pasa otra serie de ítems que corresponden a esa zona delimitada para establecer así unos ítems de nivel medio.
2. **Piramidal y ramificado:** lo primero que se hace es administrar un ítem de dificultad media, después dependiendo de si se ha acertado o no, se pasa otro ítem siguiendo la

estructura rígida de un árbol.

3. **Ramificación variable:** aunque la estimación a la que lleguemos con este proceso sea muy parecida a la de los dos anteriores, el camino seguido para ello es menos determinístico y tolera mejor el hecho de que haya aciertos o errores que no sean consistentes.

Es necesario dejar claro que los primeros dos procedimientos se consideran demasiado rígidos por lo que se busca otro procedimiento que resuelva este problema. Además cuentan con el inconveniente de la excesiva derivación que se le da tanto a los ítems de nivel uno como a los de las primeras ramificaciones, ya que al divulgarse sus resultados pueden dar a conocer su respuesta acertadas a los nuevos sujetos que vayan a examinarse (Belloch, 2004).

En términos generales, los algoritmos adaptativos no dependen exclusivamente de la forma de seleccionar el siguiente ítem. Cada momento tiene sus variantes:

- **Inicio:** la manera en que se comience un test influye en el primer ítem, pero además en las instrucciones y ejemplos que se exponen antes de comenzar el test. El primer ítem elegido puede ser de una u otra forma en función del procedimiento a seguir posteriormente. Un ítem de dificultad media si es piramidal, uno sencillo si es binivel o uno al azar si es flexible.
- **Continuación:** aquí se aprecia si es o no posible omitir y rectificar las respuestas. Si se pueden realizar omisiones, podrá optarse por ignorarlas, penalizarlas o considerarlas como un error más. El dejar omitir conlleva riesgos como el hecho de que el sujeto espere a adquirir confianza antes de empezar a responder o que se produzca una rápida divulgación del *BIC*. Por otro lado puede permitirse la rectificación de forma dinámica, bien durante la sesión o después de acabar el test. Otro de los aspectos a decidir es el tiempo máximo que estará un ítem y el control de exposición de este. En los *TAIs* suele ponerse límite de respuesta para cada ítem. En lo referente al control de exposición, lo que se hace es condicionar el método de selección del siguiente ítem, según su frecuencia de aparición acumulada. También es necesario decidir si se informará a los sujetos del resultado obtenido en la prueba o no. Esta decisión influirá notoriamente en el itinerario de presentación. Por norma general los *TAIs* no permiten ni omitir ni rectificar, y esta

se considera una de las causas para que estos tipos de test no terminen de aceptarse públicamente.

- **Final:** puede haber diversos motivos por los que se termina un *TAI*, los cuales dan lugar a reflexionar. Después de un número de presentaciones: se verán aumentadas las diferencias en el error típico de medida (*ETM*) de los sujetos. Tras agotar un tiempo límite impuesto: la puntuación del sujeto dependerá de las diferencias individuales debidas al tiempo de respuesta.

#### 4.2.4.1. Heurísticas

Se conoce como heurística al conjunto de técnicas o métodos para resolver un problema. Se puede interpretar una heurística vista como el arte de inventar por parte de los seres humanos, con la intención de procurar estrategias, métodos, criterios, que permitan resolver problemas a través de la creatividad, pensamiento divergente o lateral. También, se afirma que la heurística se basa en la experiencia propia del individuo, y en el de los demás para encontrar la solución más viable al problema.

La heurística, como disciplina científica, y en su sentido amplio puede ser aplicada a cualquier ciencia con la finalidad de elaborar medios, principios, reglas, estrategias como ayuda para lograr encontrar la solución más eficaz y eficiente al problema que analiza el individuo.

Los procedimientos heurísticos, se dividen en:

1. Principio heurístico, establece sugerencias para encontrar la solución idónea al problema.
2. Reglas heurística, señalan los medios para resolver el problema.
3. Estrategias heurísticas, son aquellas que permiten organizar los materiales o recursos compilados que contribuyen a la búsqueda de la solución del problema.

Para la computación, la heurística consiste en encontrar o construir algoritmos con buena velocidad para ser ejecutados. Ejemplos claros de la definición proporcionada son, los juegos informáticos, o programas que detectan si un correo electrónico es un spam o no. Sus objetivos

fundamentales de la programación encontrar algoritmos con buenos tiempos de ejecución y buenas soluciones, usualmente óptimas.

Las heurísticas proporcionan la herramienta adecuada para el diseño de un algoritmo propio que permita aportar un método de selección, basado en las variantes que el especialista y el desarrollador consideran apropiadas para el *TAI*.

#### 4.2.4.2. Algoritmo de selección

Se implementa una heurística que administre el banco de reactivos, tomando como pieza fundamental un reactivo, 5 opciones de respuesta, el nivel de dificultad, proceso cognitivo y su contenido específico.

Considerando los tres momentos que debe contener la prueba se determinan las siguientes características:

- **Inicio:** se establece como primer reactivo, un reactivo que tenga asignado un nivel de dificultad fácil, un proceso cognitivo entender y un contenido específico indistinto.
- **Continuación:** el algoritmo no permite la omisión ni el rectificar una respuesta, por lo que tendrá un tiempo específico de 50 segundos para contestar un reactivo y no permite regresar a preguntas anteriores.
- **Final:** como criterio de paro se consideran dos situaciones:
  - El examen consta de 15 reactivos, por lo que si el alumno contesta de manera satisfactoria, el examen terminara cuando conteste el reactivo numero 15.
  - Si el sustentante falla a tres reactivos de manera consecutiva el examen termina.

#### Pseudocódigo

En la Tabla 4.5, se muestra el algoritmo propuesto en forma descriptiva y en la Figura 4.8, se muestra de manera gráfica.

Tabla. 4.5. Algoritmo de Selección de Reactivos

Algoritmo de selección de reactivos
Inicio
Nivel de Dificultad=1;
Proceso cognitivo=1;
Contenido temático=x;
X:1:16;
Cont=0;
Mientras (reactivo<15 y cont $\leq$ 3)
...Presenta el primer ítem
...Leer la respuesta op
...Si op = true entonces
.....Guarda nivel, guarda puntaje
.....Guarda dificultad o incrementa
Guarda proceso o incrementa
contenido especifico=x
...Sino
.....Mantiene índice de dificultad
.....Mantiene proceso cognitivo
.....Cambia forzosamente contenido especifico
Cont ++
Fin

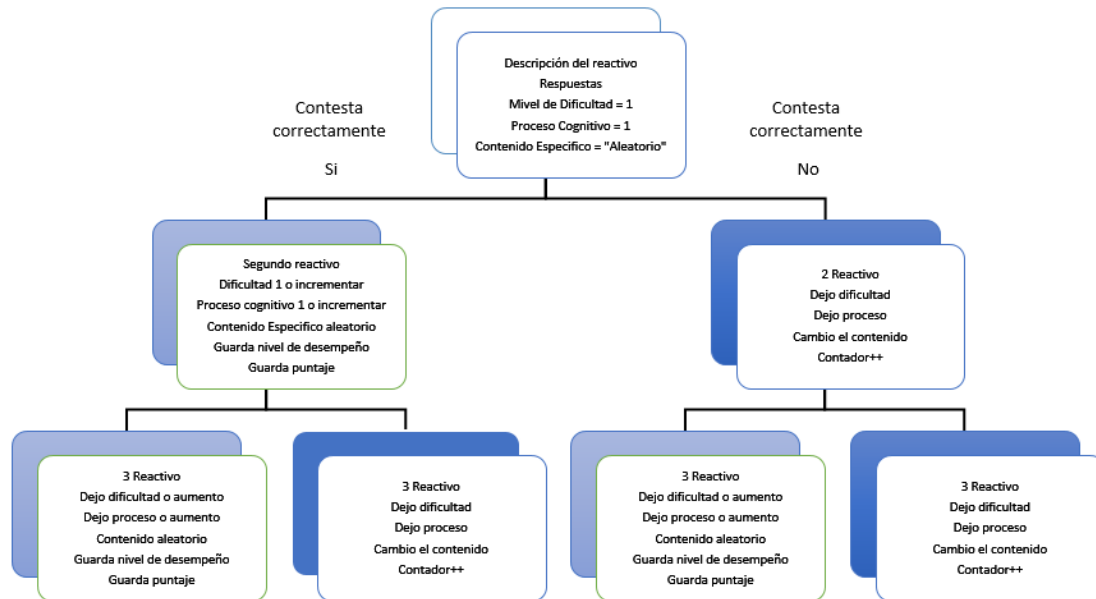


Fig. 4.8. Diseño del Algoritmo

### 4.3. Codificación

Una vez que el algoritmo para la aplicación ha sido diseñado, se iniciará la fase de codificación. En esta etapa se traduce el algoritmo a un lenguaje de programación de alto nivel.

Al utilizar Spring, el lenguaje de programación es JAVA, para comenzar se genera un proyecto "TestAdaptativo" que contiene varias carpetas que integran todos los componentes necesarios para completar el sistema, como se puede observar en la Figura 4.15, el proyecto se divide en 2 partes principales la carpeta "WEB-INF" que contienen las paqueterias necesarias para implementar las interfaces al usuario y la carpeta "Source Packages" que contiene toda la estructura cliente servidor.

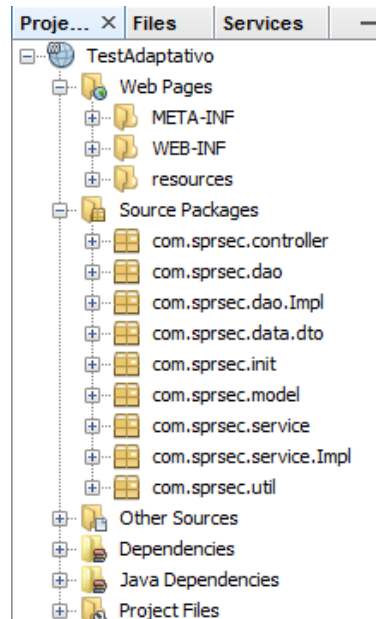


Fig. 4.9. Estructura del Proyecto

En la carpeta "WEB-INF" se almacenan todos los archivos en formato JSP, que son archivos web en los que se implementarán todas las vistas para el usuario final, también donde se realizarán las peticiones GET y POST del sistema esto se visualiza en la Figura 4.10.

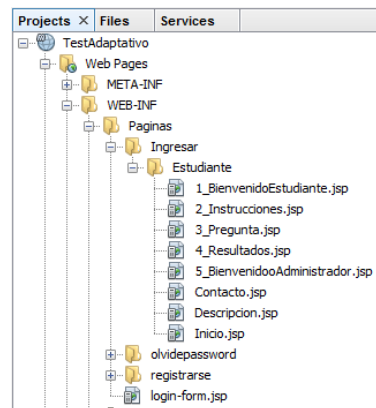


Fig. 4.10. Carpeta Archivos JSP

En la Figura 4.11, se visualiza la interfaz principal, la cual pide al usuario su usuario y

contraseña para acceder, también permite registrarse o recuperar la contraseña utilizando su correo electrónico.

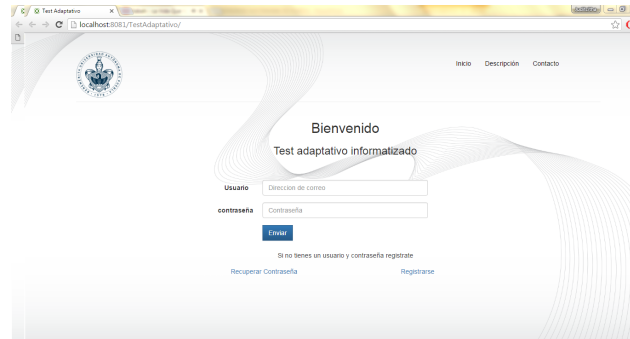


Fig. 4.11. Interfaz: De Autenticación

En la Figura 4.12 se muestra el bloque de instrucciones que el usuario debe tener presente para realizar el test.

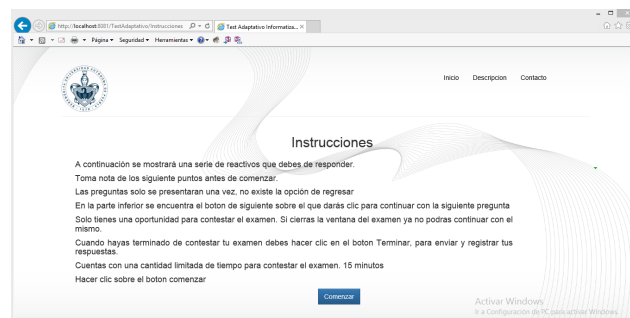


Fig. 4.12. Interfaz: Instrucciones

En la Figura 4.13 se muestra el entorno que muestra las preguntas al usuario.

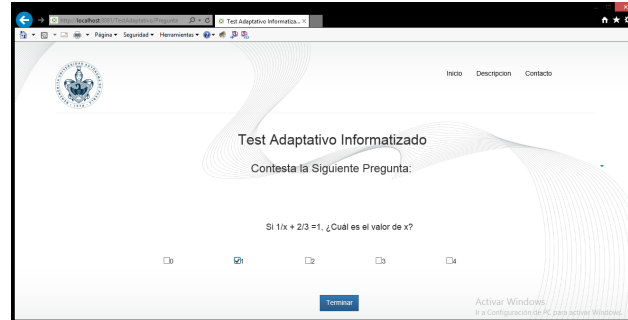


Fig. 4.13. Interfaz: Pregunta

En la Figura 4.14 se muestran el final de una prueba.

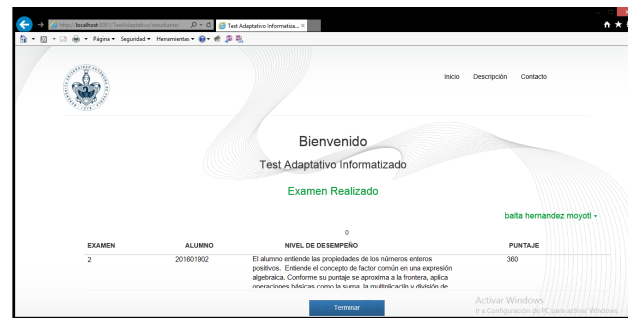


Fig. 4.14. Interfaz: Resultados

En la carpeta "Source Packages" se encuentra el código JAVA que será ejecutado por el servidor que recibe las peticiones del usuario final, aquí es donde se implementa la estructura Usuario-servidor Figura 4.15.

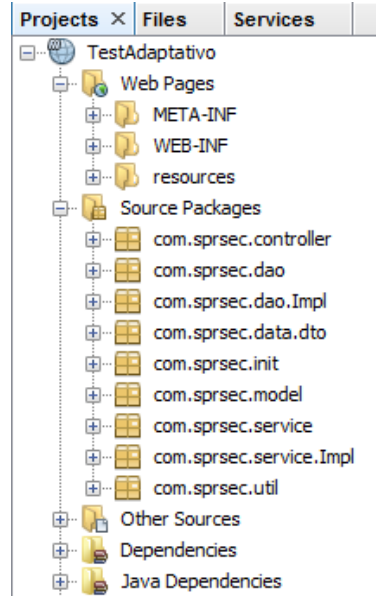


Fig. 4.15. Carpeta Archivos Source Packages

### Listado de paquetes

- **com.sprsec.controller:** en este módulo se procesan las peticiones del usuario, recibe peticiones y contesta.
- **com.sprsec.service:** estas son interfaces, serán implementadas en el paquete 3.
- **com.sprsec.service.impl:** aquí se realizan las operaciones necesarias para satisfacer las peticiones al usuario final.
- **com.sprsec.dao:** más interfaces que serán implementadas en el paquete 5.
- **com.sprsec.dao.impl:** aquí se realizan las queries a la base de datos, utilizando sentencias sql como: select, insert, update, delete.
- **com.sprsec.model:** aquí se encuentra una copia de la base de datos, donde hay una clase por cada tabla, estas clases se usan para realizar las operaciones a la base de datos desde el paquete 5.

- **com.sprsec.data.dto**: son vistas en la bases de datos, al consultar más de una tabla, se crea un objeto con los campos necesarios.

La comunicación entre estos paquetes se ve de manera gráfica en la Figura 4.16.

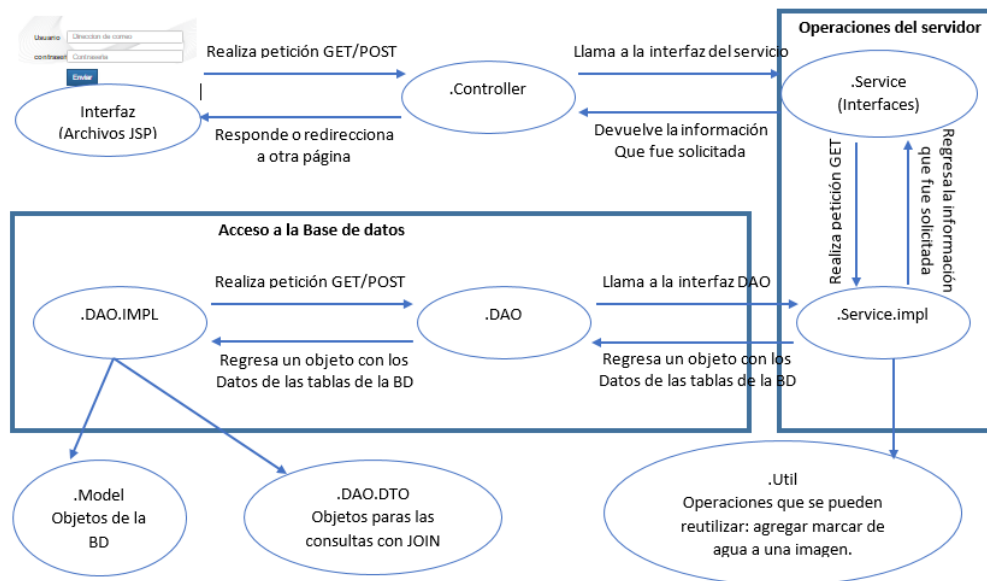


Fig. 4.16. Funcionamiento del Sistema

Para la codificación del algoritmo se diseña una query que implementa el uso de funciones aleatorias, que permitirán elegir los parámetros para la selección del siguiente reactivo, estas funciones están en un rango del valor máximo al valor mínimo de cada intervalo. La consulta básica del sistema se ilustra en la Figura 4.18.

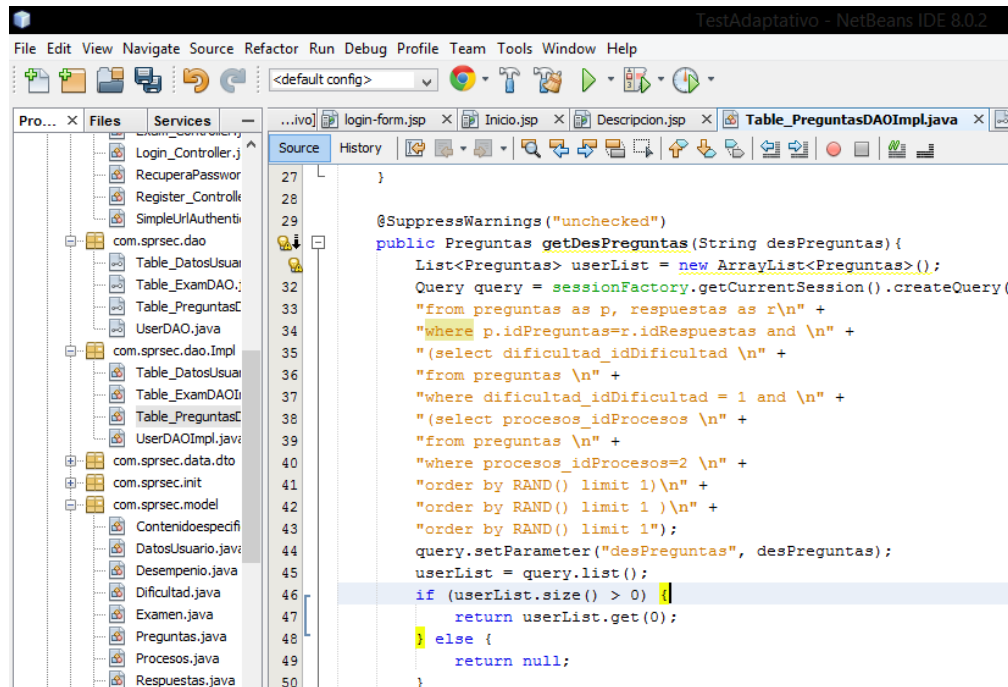


Fig. 4.17. Consulta Básica

El desarrollo de sistemas implica una etapa de pruebas en la que se diseñan situaciones en las que el sistema puede producir fallos. Las pruebas del sistema son un elemento crítico para la garantía de la calidad del sistema y representan una revisión final de las especificaciones, del diseño. El objetivo de la etapa de pruebas es garantizar la calidad del producto desarrollado. La prueba es un proceso que se enfoca sobre la lógica interna del software y las funciones externas, es un proceso de ejecución de un programa con la intención de descubrir algún error (Pressman and Troya, 1988).

Existen varios escenarios en los que se puede verificar el buen funcionamiento del software. Para este proyecto se describen 3 casos.

#### Caso 1:

Los alumnos contestan de manera correcta los 15 reactivos en no mas 15 minutos.

#### Caso 2:

Los alumnos contestan de manera incorrecta 3 reactivos consecutivamente.

#### Caso 3:

Los alumnos contestan de manera correcta e incorrecta los 15 reactivos alternadamente.

Estos 3 casos pueden encontrarse en la Figura ?? , en la que las filas representan los alumnos evaluados y las columnas las preguntas correspondientes al examen. El valor 1 corresponde a las respuestas correctas y el valor cero a las incorrectas.

Núm.	Clave	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
1	201603052	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0
2	201601902	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0
3	201601250	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0
4	201602255	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1
5	201601642	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0
6	201602139	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0
7	201602744	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1
8	201600485	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0
9	201601696	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0
10	201600337	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0

Fig. 4.18. Consulta Básica

---

## Capítulo 5

### Resultados

---

Los resultados obtenidos en un sistema desarrollado son los datos más importantes de un proyecto, e interpretarlos de manera adecuada es primordial para llegar a la meta definida. Uno de los requisitos importantes de este proyecto es obtener puntajes consistentes entre la prueba adaptativa desarrollada y su versión escrita.

#### **Prueba Escrita**

Como se dijo en capítulos anteriores, los reactivos cargados en el sistema de evaluación han sido probados y validados en un evento real a través de una prueba escrita. La población utilizada fue de 833 estudiantes del *Seminario de Orientación BUAP (SOBUAP)*, y si bien, una prueba consta de 145 reactivos, la parte de álgebra contiene 14 ítems, que fueron clasificados de acuerdo a su contenido temático y sus resultados estadísticos. Considerando las 3 versiones aplicadas se obtuvo una muestra de 42 reactivos para nuestro sistema.

En la Figura 5.1 se muestra la distribución de la población y de los reactivos al utilizar un análisis de Rasch (TRI) (Prieto and Delgado, 2003).

MAP OF PERSONS AND ITEMS				
N = 833	MEAN = 540	D.S. = 122	INFIT = 0.9	RMS = .83
MEASURE	PERSONS		ITEMS	MEASURE
800	.##			800
	.			
750	##			750
	###			
700	.####			700
	#####			
650	.#####		XX	650
	#####		XX	
600	#####		X	600
	#####		XXXX	
550	#####		XXXXX	550
	#####		XX	
500	#####		XXXX	500
	#####		XXXX	
450	#####		XX	450
	#####		XXXXXX	
400	#####		XX	400
	#####		X	
350	#####		XX	350
	#####		X	
300	#####		XXX	300
	#####			
250	#####			250
	#####		X	
200	#####			200
	#####			

EACH '#' IN THE PERSON COLUMN IS 3 PERSONS; EACH '.' IS 1 TO 2 PERSONS

Fig. 5.1. Resultados de la Prueba Escrita

Las columnas de la izquierda muestran la distribución de los estudiantes en la prueba escrita de acuerdo al puntaje obtenido, mientras que las dos columnas de la derecha muestran la distribución de los reactivos de acuerdo al puntaje mínimo requerido por un estudiante para contestar correctamente el ítem. El puntaje promedio de los estudiantes fue de 540 puntos con una desviación estándar de 122 puntos.

Las pruebas se ubicaron con una dificultad de 0.62 (mediana) con una confianza del 83 %. El *INFIT* para estas pruebas es de 0.9, el ideal es de 1.0, no obstante, para este tipo de pruebas es aceptable un *inf* entre 0.8 y 1.2.

**Prueba Adaptativa** La base de datos de este sistema consta de 42 ítems validados a través del análisis de Rasch. Con el fin de comprobar la eficiencia del sistema propuesto, se aplicó el *TAI* a una muestra determinística de 833 estudiantes de diferentes áreas geográficas de la ciudad de Puebla.

Al igual que en el *SOBUAP*, se procuró que las edades de los estudiantes estuviera entre

los 17 y los 20 años, buscando que los porcentajes fueran lo más cercanos a los estudiantes del Seminario en edades y género.

Después de superar algunos errores técnicos en cuanto al uso y manejo de las tecnologías por parte de los estudiantes, se aplicó exitosamente el *TAI* utilizando el sistema desarrollado en este trabajo de tesis.

Inmediatamente se realizaron los análisis estadísticos usando Rasch (TRI) con la finalidad de comparar los resultados arrojados por el sistema con los resultados obtenidos en la prueba escrita.

La Figura 5.2 muestra este análisis.

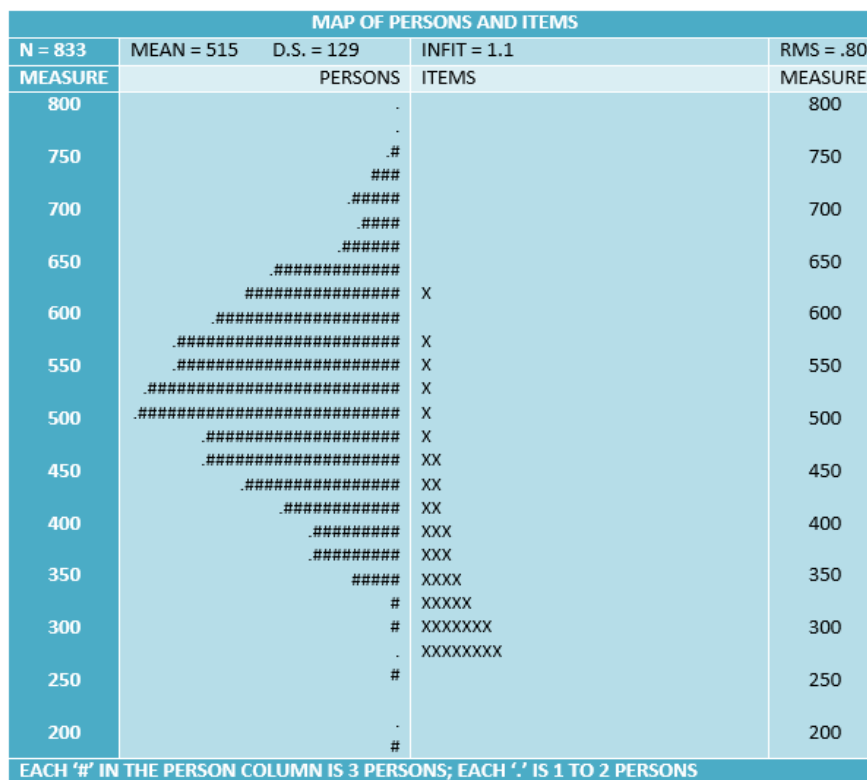


Fig. 5.2. Resultados del TAI

Las columnas de la izquierda muestran que la distribución de los estudiantes en el *TAI* es muy similar al mostrado en la prueba escrita con una media de 515 y una desviación estándar de 129 con una confianza de 80 %. Las dos columnas de la derecha muestran la distribución

de los reactivos de acuerdo al puntaje mínimo requerido por un estudiante para contestar correctamente el ítem, esto es lógico toda vez que el sistema presenta el reactivo iniciado con los más fáciles y conforme el estudiante contesta correctamente, se va aumentando la dificultad. El INFIT para estas pruebas es de 1.1, el aumento respecto a la prueba escrita deriva en el hecho del nulo uso de la tecnología en los estudiantes para realizar evaluaciones.

En la Figura 5.3 se muestra un reporte contrastado con la prueba escrita de algunos estudiantes a los que se les aplicó la prueba escrita y el *TAI* con una diferencia de 3 meses entre una y otra.

Núm.	Clave	# Plantel	Prueba Escrita		TAI	
			Puntaje	Nivel	Puntaje	Nivel
1	201603052	1	392	Nivel 2	361	Nivel 2
2	201601902	1	348	Nivel 1	360	Nivel 1
3	201601250	1	552	Nivel 3	556	Nivel 3
4	201602255	1	800	Nivel 4	750	Nivel 4
5	201601642	1	520	Nivel 2	560	Nivel 2
6	201602139	1	392	Nivel 1	456	Nivel 1
7	201602744	1	500	Nivel 2	520	Nivel 3
8	201600485	1	520	Nivel 3	552	Nivel 3
9	201601696	1	288	Nivel 1	224	Nivel 1
10	201600337	1	740	Nivel 4	780	Nivel 4

Fig. 5.3. Comparación de la Prueba Escrita y el TAI

El siguiente ejemplo muestra un reactivo trabajado en sistema, Tabla 5.1:

Tabla. 5.1. Reactivo en Sistema

<p>Ruth corre a una velocidad de 8 metros por segundo. Nancy puede correr 100 metros en 12 segundos. Carlos corre 400 metros en 56 segundos. Pedro corre 200 metros en 24 segundos. ¿Quiénes corren a la misma velocidad?</p>			
<p>(A) Carlos y Pedro  (B) Nancy y Carlos  (C) Pedro y Ruth  (D) Ruth y Carlos  (E) Pedro y Nancy</p>			
<b>Área</b>		Álgebra	
<b>Contenido temático</b>		Cambio y relación	
<b>Proceso cognitivo</b>		Resolver un problema simple	
<b>Descripción</b>		Soluciona problemas simple que conllevan operaciones con números enteros.	
<b>Nivel de dificultad</b>		Difícil	
<b>Índice de discriminación</b>		0.80	
<b>Respuesta correcta:</b>		(E)	
<b>Dificultad</b>	Mediana (12.07)	<b>Dificultad en sistema:</b>	Mediana (12.00)
<b>Escala</b>	454	<b>Escala en sistema:</b>	472

---

## Capítulo 6

### Conclusiones

---

Este sistema busca contribuir en la investigación y desarrollo de pruebas en el sentido de que además de proporcionar los resultados que comúnmente se ofrecen, contribuya a llenar el vacío existente sobre indicadores del perfil cognitivo del examinado, al menos el que exige la prueba, y permita en el futuro incorporar este perfil como un elemento adicional en la selección de estudiantes a una institución de educación superior.

El sistema, si bien es susceptible de mejoras, ha mostrado un excelente desempeño permitiendo un ahorro considerable en la utilización de papel e insumos de impresión.

Cada estudiante utilizó un tiempo que osciló entre 2.5 y 20 minutos, siendo el promedio 8.5 minutos por alumno.

Las estadísticas muestran que la utilización de un *TAI* para la selección de estudiantes a ingresar a una universidad puede ser aplicado, pero antes se debe dar la suficiente capacitación a los estudiantes con el uso y manejo de la tecnología para realizar evaluaciones, ya que algunos estudiantes no se percatan del tiempo y terminan perdiendo el reactivo al no contestar.

El sistema puede extenderse a otras áreas, basta definir de forma explícita los niveles cognitivos, así como, los contenidos temáticos específicos y contar con una base de datos robusta.

Debido a la arquitectura propuesta el sistema puede mejorarse en cada uno de sus módulos, es decir, proporciona escalabilidad.

## Bibliografía

---

- Aiken, L. R., Salinas, M. E. O., and de Oca Vega, G. M. (2003). *Tests psicológicos y evaluación*. Pearson Educación.
- Backhoff, E., Ibarra, M., and Rosas, M. (1996). Desarrollo y validación del sistema computarizado de exámenes (sicodex). *Revista de la Educación Superior*, 25(1):41–54.
- Barrada, J. R., Olea, J., Ponsoda, V., and Abad, F. J. (2010). A method for the comparison of item selection rules in computerized adaptive testing. *Applied Psychological Measurement*, 34(6):438–452.
- Bass, L., Clements, P., and Kazman, R. (2003). *Software architecture in practice*. 2nd addison-wesley. Reading, MA.
- Belloch, C. (2004). Recursos tecnológicos para la evaluación psicoeducativa. Technical report, Tech. rep., Universidad de Valencia.
- Beltrán, P. M. H. (2000). Los tests adaptativos informatizados en la frontera del siglo xxi: una revisión: una revisión. *Metodología de las Ciencias del Comportamiento*, 2(2):183–216.
- Carrasco Romo, S. (2011). El seminario de orientación al examen de admisión a la buap: Un diseño instruccional exitoso para potenciar las habilidades de razonamiento. *Perfiles educativos*, 33(134):52–64.
- Chaín, R., Cruz, N., Martínez, M., and Jácome, N. (2003). Examen de selección y trayectoria escolar. *Revista de la Educación Superior*, 32(125):41–52.
- Chang, Y.-c. I. and Ying, Z. (2004). Sequential estimation in variable length computerized adaptive testing. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 121(2):249–264.

- 
- Chávez, C. and Saade, A. (2010). Procedimientos básicos para el análisis de reactivos. *México: Centro Nacional de Evaluación para la Educación Superior*.
- Cuevas, J. L. R., Toledo, L. D., and Escudero, E. B. (2005). Desarrollo e implementación del examen de ubicación de matemáticas. *Revista de la educación superior*, 34(136):19–32.
- Díaz, J. O., Gil, V. P., and Prieto, G. (1999). *Tests informatizados: fundamentos y aplicaciones*.
- Digitales, C. et al. (2014). Facultad udlap; palou garcía, enrique.
- Escudero, E. B. and Segura, F. T. (2005). Desarrollo del examen de habilidades y conocimientos básicos (exhcoba). *Revista de la Educación Superior*, 21(3):83.
- Fernández, J. M. (2010). Las teorías de los tests: teoría clásica y teoría de respuesta a los ítems. *Papeles del psicólogo*, 31(1):57–66.
- García, J. E. (2016). La introducción de la escala de inteligencia de stanford-binet en el paraguay/the introduction of the stanford-binet intelligence scale in paraguay. *Interacciones. Revista de Avances en Psicología*, 2(1):65–83.
- Gil, V. P., Adánez, G. P., and Díaz, J. O. (2000). Test informatizados. fundamentos y aplicaciones. *Psicothema*, 12(2):321–322.
- Hambleton, R., Swaminathan, H., and Rogers, H. (1985). Principles and applications of item response theory.
- Hambleton, R. K., Zaal, J. N., and Pieters, J. P. (1991). Computerized adaptive testing: Theory, applications, and standards. In *Advances in educational and psychological testing: Theory and applications*, pages 341–366. Springer.
- Jodoin, M. G., Zenisky, A., and Hambleton, R. K. (2006). Comparison of the psychometric properties of several computer-based test designs for credentialing exams with multiple purposes. *Applied Measurement in Education*, 19(3):203–220.
- Lord, F. M. (1980). *Applications of item response theory to practical testing problems*. Routledge.

- Luecht, R., Brumfield, T., and Breithaupt, K. (2006). A testlet assembly design for adaptive multistage tests. *Applied Measurement in Education*, 19(3):189–202.
- Martínez Rizo, F. (2001). Evaluación educativa y pruebas estandarizadas. elementos para enriquecer el debate. *Revista de la educación superior*, 30(120):71–85.
- Muñiz, J. (1997). Introducción a la teoría de respuesta a los ítems.
- Olea, J. and Ponsoda, V. (1998). Evaluación informatizada en contextos de aprendizaje. *Nuevas Tecnologías para el aprendizaje*, pages 161–175.
- Pinsach, J. R. and Diéguez, E. D. (1999). Tests adaptativos informatizados: Estructura y desarrollo. In *Tests informatizados: Fundamentos y aplicaciones*, pages 127–162.
- Pressman, R. S. and Troya, J. M. (1988). Ingeniería del software.
- Prieto, G. and Delgado, A. R. (2003). Análisis de un test mediante el modelo de rasch. *Psicothema*, 15(1):94–100.
- Revuelta, R. C., Ramírez, N. C., Morales, M. M., and Ávila, N. J. (2003). Examen de selección y probabilidad de éxito escolar en estudios superiores. estudio en una universidad pública estatal mexicana. *Revista electrónica de investigación educativa*, 5(1).
- Rodríguez, Víctor E. Bonilla, F. L. M. (2006). Ç collegeboard. *Cuadernos de Investigación*.
- Sierra-Matamoros, F. A., Valdelamar-Jiménez, F., Hernández-Tamayo, F. A., and Sarmiento-García, L. M. (2007). Test adaptativos informatizados. *Avances en Medición*, 5:157–162.
- Simanca Herrera, F. and Abuchar Porras, A. (2015). Aei-algoritmo de evaluación inteligente.
- Sokal, R. R. (1958). A statistical method for evaluating systematic relationships. *Univ Kans Sci Bull*, 38:1409–1438.
- Toledo, G., Mezura Godoy, C., Cruz Ramírez, N., and Benítez Guerrero, E. (2013). Modelo de evaluación adaptativa y personalizada mediante razonamiento probabilista. *Conferencias LACLO*, 4(1).

Vispoel, W. P., Clough, S. J., and Bleiler, T. (2005). A closer look at using judgments of item difficulty to change answers on computerized adaptive tests. *Journal of Educational Measurement*, 42(4):331–350.