



# Universidad Austral de Chile

---

## Facultad de Ciencias de la Ingeniería

### Escuela de Ingeniería Civil en Informática

## **“SISTEMA DE APOYO A LA CUANTIFICACIÓN DE CARGA ACADÉMICA ESTUDIANTIL A PARTIR DE COMPARACIONES RELATIVAS”**

PROFESOR PATROCINANTE:  
SR. MAURICIO RUIZ-TAGLE  
INGENIERO CIVIL EN INFORMÁTICA  
DOCTOR EN SOFTWARE Y SISTEMAS

Proyecto para optar al título de:  
**Ingeniero Civil en Informática**

PROFESOR CO-PATROCINANTE  
SR. JORGE MATORANA ORTIZ  
INGENIERO CIVIL EN INFORMÁTICA  
MAGÍSTER EN INGENIERÍA INFORMÁTICA  
DOCTOR EN INFORMÁTICA

PROFESOR INFORMANTE  
SRA. MARIA ELIANA DE LA MAZA  
INGENIERO CIVIL EN INFORMÁTICA  
MAGÍSTER EN INFORMÁTICA EDUCATIVA

**ALEXI BAUTISTA CORDERO OBANDO**

VALDIVIA – CHILE  
AÑO 2014

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a mi familia, a mis padres Carmen y Juan, y a mi hermano Gabriel, que siempre me han apoyado y se han preocupado por mi bienestar en todas las etapas de mi vida. Agradezco a mis padres por los valores y el deseo de superación que siempre me inculcaron, ya que sin ellos no estaría escribiendo estas palabras, gran parte de mis logros se los debo a ellos. Agradezco a mi hermano por ser mi primer amigo y un gran compañero de vida. De manera especial quiero agradecer a mi polola Nicole, por ser un pilar fundamental en la última etapa de este periodo universitario, por siempre estar ahí cuando la necesité, por escucharme y darme apoyo en los momentos más complicados. También quiero agradecer a mis tíos, primos y a mi abuela, por estar siempre preocupados de que todo esté bien, por su constante cariño y buenas vibras.

Quiero también agradecer a todos los que fueron parte de mi proceso formativo como persona y estudiante, a mis compañeros y profesores de kínder, enseñanza básica y media, ya que en este paso por la universidad también están los recuerdos y enseñanzas entregadas por todos ellos. También quiero agradecer a los profesores de la Universidad que formaron parte de este proceso, en especial a los profesores Mauricio y Jorge, por convertirse en mis guías durante la última etapa de mi formación profesional, por darme la oportunidad de trabajar con ellos y embarcarse en el desafío que fue desarrollar este proyecto, a las profesores Maria Eliana y Mariana, y al profesor Eric, por brindarme su tiempo y ayuda cada vez que lo requerí. Además quiero agradecer a la señora Juanita, a Verito, Yanett y Carlitos, por siempre tener una sonrisa al momento de ayudarme.

Quiero agradecer a mis amigos de la infancia Carlos y Javier al cuadrado por sus 11 años de amistad, llenos de alegría, apoyo, compresión y cariño. También quiero agradecer a los amigos que conocí durante mi etapa universitaria, y que hicieron de ésta una hermosa experiencia, Fernando, Jonathan, Rodrigo, Cro, Jordan, Felipe, Tomas, Esteban, Aliro, Diego, Diegui, Piña, Bruce, Yasna, Morin, Natalia y tantos otros. Muchas gracias por formar parte de mi vida, y a la vez dejarme ser parte de la suya.

Para finalizar quiero agradecer todas las personas que no he podido nombrar, pero que de alguna manera han contribuido con su granito de arena para que pueda cumplir con mis objetivos, hay un lugar en mi corazón para todos ellos. Gracias totales!!!

## INDICE

1	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	Objetivos Generales y Específicos .....	2
1.1.1	Objetivo General .....	2
1.1.2	Objetivos Específicos.....	2
1.2	Metodología.....	3
2	MARCO TEÓRICO .....	5
2.1	Proceso analítico jerárquico .....	5
2.1.1	Estructura de un problema de decisión .....	6
2.1.2	Filosofía, procedimiento y práctica del AHP .....	7
2.1.3	Escala de Saaty o intensidad de preferencias .....	7
2.1.4	Método de solución e índice de inconsistencia.....	8
2.1.5	Otros métodos de solución .....	9
2.2	Modelo matemático para la cuantificación de preferencias de grupo .....	10
2.2.1	Contexto de la problemática .....	10
2.2.2	Matriz de comparación por pares y vector de pesos .....	11
2.2.3	Problema asociado .....	12
2.2.4	Método basado en distancias.....	13
2.2.5	Modelos a implementar.....	17
2.3	Implementaciones software que resuelven la problemática .....	18
2.3.1	Expert Choice.....	19
2.3.2	Plataforma web de apoyo a la toma de decisiones de grupo basadas en preferencias .....	25
2.3.3	Hipre+ .....	30
3	ARQUITECTURA DE LA PLATAFORMA.....	34
3.1	Arquitectura cliente-servidor.....	34
3.2	Tecnologías para el desarrollo de la plataforma.....	35
3.2.1	Capa de presentación.....	35
3.2.2	Capa de negocio .....	38
3.2.3	Capa de datos .....	41
3.2.4	Patrón de diseño .....	42
4	DESARROLLO DEL SISTEMA .....	44
4.1	Planificación .....	44

4.1.1	Metodología .....	44
4.1.2	Plan de trabajo.....	45
4.1.3	Validación .....	47
4.2	Análisis .....	48
4.2.1	Requerimientos .....	48
4.2.2	Modelo conceptual .....	50
4.2.3	Casos de uso.....	51
4.3	Diseño e implementación .....	55
4.3.1	Diagrama de componentes .....	55
4.3.2	Modelo de datos .....	56
4.3.3	Módulo alumno .....	57
4.3.4	Modulo administrador.....	63
4.3.5	Estructuras de datos.....	75
4.4	Validación del software.....	78
4.4.1	Cumplimiento de requisitos .....	78
4.4.2	Cálculo de preferencias globales.....	79
5	VALIDACIÓN .....	83
5.1	Metodología.....	83
5.2	Instancia de presentación.....	83
5.3	Caso de prueba .....	84
5.3.1	Participación.....	85
5.3.2	Resultados y discusión .....	85
5.4	Validación de usabilidad .....	91
6	CONCLUSIONES .....	95
7	REFERENCIAS.....	98
8	ANEXOS .....	100
	Anexo A: Transformación de valores obtenidos del usuario a la escala de Saaty .....	100
	Anexo B: Diagrama de secuencia caso de uso “Ver resultados” .....	102
	Anexo C: Matrices utilizadas en validación del modelo matemático .....	103
	Anexo D: Resultados caso de prueba .....	104
	Anexo E: Informe completo de la encuesta de Usabilidad .....	108

## INDICE DE TABLAS

Tabla	Página
Tabla 1: Escala de Saaty [Saa10].....	7
Tabla 2: Average Random Consistency (R.I) [Saa10].....	9
Tabla 3: Requisitos funcionales .....	48
Tabla 4: Requisitos no funcionales .....	50
Tabla 5: Matriz de trazabilidad para el modulo alumnos.....	54
Tabla 6: Matriz de trazabilidad para el módulo de administración.....	54
Tabla 7: Diagrama de caso de uso Manifestar preferencias en un caso.....	58
Tabla 8: Caso de uso real Crear caso automático .....	64
Tabla 9: Diagrama de caso de uso real Ver resultados .....	68
Tabla 10: Matriz de trazabilidad para requisitos que sufrieron modificaciones .....	79
Tabla 11: Comparación de cálculos del software con paper.....	81
Tabla 12: Comparación de resultados obtenidos por el software con LINDO .....	82
Tabla 13: Resumen de comparación de métricas globales en base a métricas lp .....	87
Tabla 14: Datos académicos Semestre I de la malla curricular, 2014. ....	88
Tabla 15: Relación entre razón de tiempo en una asignatura y su tasa de aprobación. ...	89
Tabla 16: Equivalencia entre valores porcentuales y Escala de Saaty.....	101
Tabla 17: Matrices utilizadas en validación modelo adaptado a un grupo de expertos.	103
Tabla 18: Resumen de métricas globales en base a distintas métricas lp para grupo 3.	106

## INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1: Jerarquía de tres niveles.....	5
Figura 2: Modelo de solución para la cuantificación de preferencias de grupo [Boe07].	11
Figura 3: Matriz de comparación por pares. ....	11
Figura 4: Contraste entre modelo y realidad de matrices de comp. por pares [Boe07]..	13
Figura 5: Obtención del vector de pesos a partir de las opiniones de varios expertos....	16
Figura 6: Menú de un proyecto [Qui13]. .....	20
Figura 7: Jerarquía de criterios [Qui13]. .....	20
Figura 8: Jerarquía de alternativas [Qui13].....	20
Figura 9: Pantalla de invitación de participantes [Qui13].....	21
Figura 10: Pantalla de resultados globales [Exp].....	22
Figura 11: Sensibilidad dinámica basada en los juicios de los participantes [Exp].....	22
Figura 12: Comparación verbal por pares [Exp].....	22
Figura 13: Comparación verbal de múltiples [Exp].....	23
Figura 14: Comparación gráfica/numérica por pares [Exp].....	23
Figura 15: Comparación gráfica/numérica de múltiples parejas [Exp]. .....	23
Figura 16: Ingreso directo de entradas para objetivos [Exp]. .....	23
Figura 17: Clasificación de alternativas con respecto a un objetivo [Exp].....	24
Figura 18: Lista de casos a los que el usuario tiene acceso [Boe07]. .....	26
Figura 19: Alternativas disponibles para la opinión de un experto [Boe07].....	26
Figura 20: Interfaz de manifestación de preferencia [Boe07].....	27
Figura 21: Procedimiento para la manifestación de una preferencia [Boe07] .....	27
Figura 22: Información de un caso y sus soluciones [Boe07] .....	28
Figura 23: Creación de una solución [Boe07].....	28
Figura 24: Información de una solución de un caso [Boe07] .....	29
Figura 25: Estructura jerárquica incompleta.....	31
Figura 26: Manifestación de preferencias .....	31
Figura 27: Manifestación de preferencias completa .....	32
Figura 28: Solución de un caso .....	32
Figura 29: Análisis de sensibilidad .....	33
Figura 30: Arquitectura cliente-servidor de la plataforma.....	34
Figura 31: Carta Gantt Plan de Trabajo para las etapas de la ingeniería de Software ....	46

Figura 32: Modelo conceptual de la plataforma software.....	50
Figura 33: Diagrama de Casos de Uso para Administrador-Modulo Administración.....	51
Figura 34: Diagrama de Casos de Uso para Creador de casos-Modulo Administración.	52
Figura 35: Diagrama de Casos de Uso para Analista de casos-Modulo Administración	52
Figura 36: Diagrama de Casos de Uso para Alumno-Modulo Alumnos .....	53
Figura 37: Diagrama de componentes software del sistema.....	56
Figura 38: Diagrama de componentes hardware del sistema.....	56
Figura 39: Modelo de datos del producto software.....	57
Figura 40: Diagrama de secuencia Caso de Uso Manifestar preferencias en un caso .....	60
Figura 41: Diagrama de pantallas-Modulo alumnos.....	61
Figura 42: Diagrama de secuencia Crear caso automático .....	66
Figura 43: Diagrama de secuencia Caso de uso Ver resultados.....	71
Figura 44: Diagrama de pantallas-Módulo administración.....	73
Figura 45: Estructura JSON para gráfico de torta .....	76
Figura 46: Gráfico de torta desplegado a partir de una estructura JSON.....	77
Figura 47: Estructura JSON para gráfico de barras .....	78
Figura 48: Gráfico de barras desplegado a partir de una estructura JSON .....	78
Figura 49: Implementación del modelo matemático con métrica $p=1$ .....	80
Figura 50: Progreso de alumnos grupo 1 en el caso de prueba.....	86
Figura 51: Gráficos de preferencias globales de los alumnos del grupo 1.....	86
Figura 52: Comparación de preferencias globales en base a distintas métricas $lp$ .....	87
Figura 53: Comp. hrs. dedicadas por los alumnos con hrs. propuestas por programa....	89
Figura 54: Relación entre razón de tiempo en una asignatura y su tasa de aprobación..	90
Figura 55: Resumen reacción general del software .....	92
Figura 56: Resumen de la vista web .....	92
Figura 57: Resumen de la terminología .....	93
Figura 58: Resumen del aprendizaje .....	93
Figura 59: Resumen de las capacidades del sistema.....	93
Figura 60: Comparación no respondida.....	100
Figura 61: Comparación respondida .....	101
Figura 62: Diagrama de secuencia completo caso de uso “Ver resultados” .....	102
Figura 63: Matriz de prueba [Dop02] .....	103
Figura 64: Progreso de alumnos grupo 3 en caso de prueba.....	104
Figura 65: Gráficos de preferencias globales de los alumnos del grupo 3.....	105
Figura 66: Comp. de preferencias globales en base a métricas $lp$ para grupo 3 .....	105

Figura 67: Comp. hrs dedicadas por alumnos con hrs. propuestas por programa G3....106

## **RESUMEN**

En el contexto de la educación superior, la planificación curricular es fundamental para el buen desempeño del modelo educativo basado en el estudiante que busca impartir la Universidad, considerando esto, se hace necesaria la retroalimentación de información por parte de los alumnos, para validar si éstos están siguiendo la planificación realizada, ya que es posible que los estudiantes realicen una mala distribución de su tiempo, lo cual puede traer diversas consecuencias que pueden afectar su rendimiento académico, y en muchos casos aumentar la tasa de deserción de las distintas carreras de la Universidad.

El objetivo del proyecto, es desarrollar y validar una plataforma de software basada en tecnología web que permita el apoyo a la cuantificación de carga académica estudiantil mediante comparaciones relativas.

Esta plataforma utiliza la escala de Saaty, y matrices de comparación por pares para obtener las preferencias de los estudiantes, las que posteriormente son procesadas por un modelo matemático basado en distancias, que permitirá obtener un vector de preferencias, que muestra el porcentaje del tiempo que los estudiantes dedican a cada ramo. La plataforma utilizará los vectores de preferencia obtenidos y la información de los programas de las asignaturas, para comparar el tiempo sugerido para cada asignatura con el tiempo dedicado por cada estudiante a éstas.

Actualmente no se utiliza ningún mecanismo basado en métodos de cuantificación de preferencias para conocer la dedicación de tiempo de los estudiantes a sus ramos, por lo que el proceso para obtenerla, junto con la información obtenida, será nuevo.

Con esto, se espera contribuir con información relevante en lo referido al análisis de la situación estudiantil actual, detección de problemas de carga horaria, identificación de sus causas y definición de horas no presenciales en las mallas curriculares de diversos ramos de la carrera de Ingeniería Civil en Informática. Además, al ser una herramienta que permite comparar las horas sugeridas por programa para las asignaturas, con una estimación de las horas dedicadas por los estudiantes, se espera que ésta apoye la validación del enfoque curricular de la universidad y por ende del modelo educativo basado en el estudiante que se imparte actualmente.

## **ABSTRACT**

In the context of higher education, curriculum planning is essential for the proper performance of the educational model based on the student who seeks to impart the University, considering this, the feedback information by the students becomes necessary, to validate if they are following the planning done, since it is possible that students take a misallocation of time, which can bring several consequences that may affect their academic performance, and in many cases increase the desertion rate of the different careers of the University .

The project objective is to develop and validate a software platform based on web technology to support the quantification of student academic workload by relative comparisons.

This platform uses the Saaty scale, and pairwise comparison matrices to get the preferences of students, which will be then processed by a distance-based mathematical model, which will allow produce a vector of preferences, who shows the percentage of time engaged in each subject by the students. The platform will use the preference vectors obtained and information from syllabus, to compare suggested time for each subject with time spent by each student in this.

Currently it isn't used any mechanism based on methods of quantifying preferences to know the time commitment of students to their subjects, so that the process to obtain it, along with information obtained will be new.

With this, it is expected to contribute relevant information relative to the analysis of current student status, troubleshooting of workload, identifying their causes and definition of non-contact hours in the curricula of various subjects of Civil Engineering in Computer Science. Also, being a tool for comparing the times suggested by program subjects, with an estimate of the hours spent by students, it is expected to support the validation of curricular approach college and therefore the educational model based on the student who is currently taught.

## 1 INTRODUCCIÓN

Una problemática común en la vida de un estudiante, es cómo hacer frente a la carga académica que enfrenta éste, es decir, cómo distribuir de manera correcta el tiempo entre las distintas asignaturas que se cursan. Una mala distribución de ese tiempo, combinada con otros factores, como por ejemplo la situación socioeconómica del estudiante, su lugar de residencia, el colegio de procedencia, su situación académica actual, pueden ocasionar un mal rendimiento académico por parte del estudiante. Sin embargo no existen datos que apoyen esta suposición, ni tampoco herramientas que permitan identificar cuáles son los estudiantes que tienen una mala distribución de su tiempo. Las distintas escuelas de cada carrera solo cuentan con las notas de cada estudiante y la información que les entrega la psicopedagoga en caso de que el estudiante haya acudido a ésta.

Actualmente la tecnología juega un rol fundamental en la obtención de información y la toma de decisiones. Existen diversas técnicas para la obtención de esa información, las cuales dependen de qué tipo de información se requiere. En el caso de esta problemática, es necesario conocer de qué manera distribuyen su tiempo los estudiantes.

Este proyecto surge como una iniciativa de la escuela de Ingeniería Civil en Informática de la UACh, y de acuerdo a lo mencionado anteriormente, se pretende crear una plataforma web, que permita obtener la distribución del tiempo que asignan los estudiantes a las asignaturas que cursan, y usar dicha información junto con la información de los programas de cada asignatura, para comparar el tiempo sugerido para cada asignatura, con el tiempo dedicado por los estudiantes a éstas.

Para lograr esto, se utilizarán métodos de cuantificación de preferencias, los cuales corresponden a técnicas estructuradas para tratar decisiones complejas. En vez de prescribir la decisión “correcta”, éstas ayudan a los decisores a encontrar la solución que mejor se ajusta a sus necesidades y su comprensión del problema. Estos métodos son usados alrededor del mundo en una amplia variedad de situaciones de decisión, en campos tales como gobierno, negocios, industria, salud y educación.

La información obtenida por esta plataforma servirá de apoyo para la gestión curricular por parte de la escuela de Ingeniería Civil en Informática, ya que se contará con datos que ayuden a tener una idea mucho más clara de las asignaturas que demandan más tiempo, y ver si esto se condice con las horas estipuladas en los programa de dichos ramos. En una segunda instancia, la información puede apoyar una reforma de la malla curricular de la carrera y también servir de apoyo en los procesos aseguramiento de calidad e innovación curricular de la Universidad, ya que la información podría servir para verificar algunas métricas del enfoque curricular de la universidad, correspondientes a las horas asignadas a cada asignatura, lo cual es importante para el cumplimiento del modelo educativo centrado en el estudiante que promueve la universidad.

## **1.1 Objetivos Generales y Específicos**

### **1.1.1 Objetivo General**

Desarrollar y validar una plataforma de software basada en tecnología web que permita el apoyo a la cuantificación de carga académica estudiantil mediante comparaciones relativas.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Conocer y explicar el modelo matemático a utilizar para la cuantificación de preferencias de grupo, además de revisar formulaciones e implementaciones software que apunten a resolver problemas similares.
- Diseñar e implementar el módulo alumnos de la plataforma, correspondiente a la obtención, almacenamiento y cómputo de las preferencias de los estudiantes.
- Validar el comportamiento del módulo implementado utilizándolo para obtener las preferencias de los estudiantes que terminan de cursar el primer semestre académico.
- Diseñar e implementar el módulo de administración de la plataforma, correspondiente a la generación de perfiles de estudiantes y configuración de casos.
- Validar el comportamiento de la plataforma.

## 1.2 Metodología

Para cumplir con los objetivos de este proyecto, es necesario adquirir conocimientos en el área de la toma de decisiones, lo cual permitirá dar validez y consistencia al diseño y desarrollo del sistema.

En un principio se realizó un estudio del Proceso analítico jerárquico o AHP, el cual corresponde a una metodología para la toma de decisiones ampliamente usada. Se debe estudiar su modelo de estructura, la forma de enfrentar y estructurar un problema de decisión, junto con los elementos necesarios para hacerlo, como son los expertos, la escala de Saaty, la matriz de comparación por pares, inconsistencia y el vector de pesos. Esto para familiarizarse con los términos y estar mucho más preparado para afrontar la problemática.

El siguiente paso consistió en realizar un modelo matemático para la cuantificación de preferencias de los estudiantes, por lo que se utilizó el conocimiento adquirido para estructurar el problema. Posteriormente se debe buscar un método de solución para obtener las preferencias de los expertos o estudiantes a partir de la matriz de comparación por pares, por lo que se realizó una revisión de distintos enfoques y métodos de solución, entre los que destacan el método del autovalor, el cual es propuesto por el propio Saaty dentro del AHP, y los enfoques basados en distancia, que fueron los que se adoptaron en éste proyecto.

Una vez completo el modelo matemático, se realizó una revisión de herramientas software para la toma de decisiones, para tener antecedentes de cómo se están solucionando problemas similares en la actualidad, y principalmente para conocer el tipo de interfaces que estas herramientas utilizan para interactuar con el usuario, esto para saber cuáles son las mejores alternativas.

Para finalizar la etapa teórica, se investigó sobre tecnologías existentes que permitan implementar el modelo de solución escogido.

La siguiente etapa para continuar el proyecto, es la de diseño e implementación del software. Para esta etapa se definió una metodología de entrega incremental, ya que en un principio había un grupo de requisitos que estaba más claro que los demás y que además tenía una mayor importancia dentro del proyecto. El desarrollo se dividió en tres

incrementos, y para cada incremento se realizó un desarrollo evolutivo, lo que permitió ir depurando cada incremento en base a la retroalimentación que se tenía. En el primer incremento se seleccionaron las tecnologías de desarrollo y se diseñó la arquitectura de plataforma, en base a los requisitos que se establecieron en un principio.

Para finalizar, se realizó una etapa de validación del software, donde se probó la funcionalidad y usabilidad de éste, con el fin de comprobar si cumplía con los requisitos propuestos, y si además cumplía con el modelo matemático diseñado en un principio. Para validar las funcionalidades esperadas del software y la usabilidad del mismo, se realizaron casos de prueba, en los cuales participaron profesores y alumnos de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la UACh, lo que permitió probar cada módulo de la plataforma. Al finalizar la prueba, cada usuario de la plataforma respondió una encuesta, la cual contribuyó con información valiosa con respecto al desempeño de la plataforma.

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 Proceso analítico jerárquico

El proceso analítico jerárquico (AHP, por Analytic Hierarchy Process, en inglés) es un acercamiento básico a la toma de decisiones. Está diseñado para hacer frente tanto a lo racional como a lo intuitivo, para seleccionar la mejor de un número de alternativas evaluadas con respecto a varios criterios. En este proceso, la toma de decisiones involucra juicios de comparación por pares simples que luego se utilizan para desarrollar las prioridades generales para la clasificación de las alternativas. El AHP permite una inconsistencia de los juicios y proporciona un medio para mejorar la consistencia [Saa10].

La forma simple usada para estructurar un problema de decisión es una jerarquía que consiste de tres niveles: la meta de la decisión en el nivel superior, seguido por un segundo nivel que consta de los criterios por los que las alternativas, localizadas en el tercer nivel, son evaluadas. Esta estructura se puede apreciar en la Figura 1.

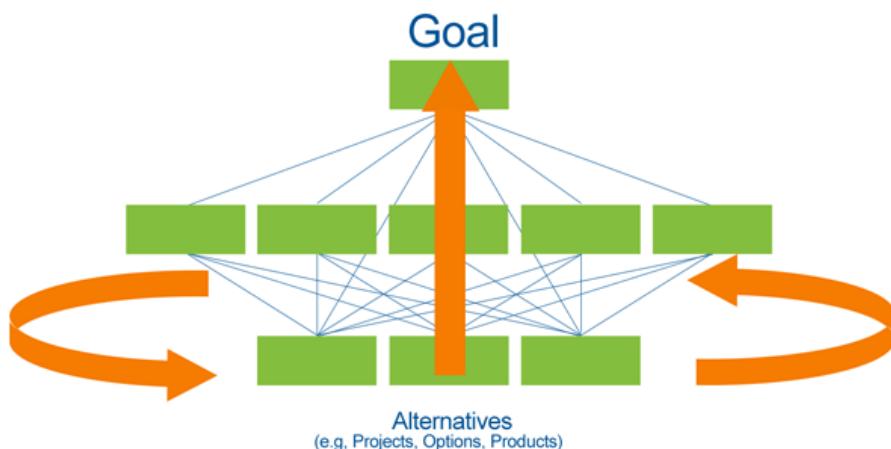


Figura 1: Jerarquía de tres niveles<sup>1</sup>.

La descomposición jerárquica de los sistemas complejos parece ser un dispositivo básico utilizado por la mente humana para hacer frente a la diversidad. Se organizan los factores que afectan a la decisión en pasos graduales desde lo general, en los niveles superiores de la jerarquía, a lo particular, en los niveles inferiores. El propósito de la estructura es hacer posible juzgar la importancia de los elementos en un determinado nivel con respecto a todos o alguno de los elementos en el nivel adyacente anterior.

---

<sup>1</sup> Fuente: <http://expertchoice.com/about-us/our-decision-making-methodology/>

### **2.1.1 Estructura de un problema de decisión**

Quizás, la mayor tarea creativa para tomar una decisión es decidir qué factores estarán incluidos en la estructura de la jerarquía. Cuando se construye una jerarquía se deben incluir suficientes detalles relevantes para representar el problema tan a fondo como sea posible, pero no tan a fondo como perder sensibilidad para hacer cambios en los elementos. Se debe considerar el ambiente que rodea el problema, identificar las incidencias o atributos que podrían contribuir a la solución, y quienes son los participantes asociados al problema [Saa10].

Organizando las metas, atributos y stakeholders en una jerarquía sirve a dos propósitos: provee una vista global de las relaciones complejas inherentes en la situación y en el proceso de juicio, y también permite que el tomador de decisiones evalúe respecto de si él o ella está comparando cuestiones del mismo orden de magnitud, ya que los elementos que se comparan deben ser homogéneos.

La jerarquía no necesita estar completa, es decir, un elemento en un nivel dado no tiene que funcionar como un criterio para todos los elementos en el siguiente. Por lo tanto una jerarquía se puede dividir en sub jerarquías que comparten sólo un elemento superior común. Además, un tomador de decisiones puede insertar o eliminar los niveles y los elementos que sean necesarios para aclarar la tarea de establecer prioridades o para centrar más la atención en una o más partes del sistema. Los elementos que son de interés menos inmediato se pueden representar en términos generales en el nivel superior de la jerarquía y elementos de importancia crítica para el problema en cuestión se pueden desarrollar con mayor profundidad y especificidad. La tarea de establecer prioridades requiere que los criterios, los subcriterios, las propiedades o características de las alternativas comparables entre sí estén relacionados a los elementos del nivel superior siguiente.

Finalmente, después de que los juicios han sido hechos sobre el impacto de todos los elementos, y las prioridades se han calculado para la jerarquía como un todo, a veces, y con cuidado, los elementos menos importantes pueden ser dejados de lado debido a su impacto relativamente pequeño en el objetivo general.

## 2.1.2 Filosofía, procedimiento y práctica del AHP

Este método ha encontrado sus aplicaciones más amplias en la toma de decisiones multicriterio, en la planificación y asignación de recursos y en la resolución de conflictos. En su forma más general, el AHP es un marco no lineal para llevar a cabo tanto el pensamiento deductivo e inductivo. Este hace posible tomar en cuenta varios factores al mismo tiempo, teniendo en cuenta la dependencia y la retroalimentación, y usar los operadores numéricos para llegar a una síntesis o conclusión [Saa10].

## 2.1.3 Escala de Saaty o intensidad de preferencias

Los juicios por pares en AHP son aplicados a pares de elementos homogéneos. La escala fundamental de valores que representa las intensidades de los juicios se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Escala de Saaty [Saa10].

Intensidad de importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos actividades contribuyen igualmente al objetivo.
2	Débil	
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente una actividad sobre otra.
4	Más moderada	
5	Importancia fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre otra.
6	Más fuerte	
7	Muy fuerte o demostrada Importancia	Una actividad se ve favorecida muy fuertemente sobre otro; demostró su dominio en la práctica.
8	Muy, muy fuerte	
9	Extrema importancia	La evidencia a favor de una actividad sobre otra es del mayor orden posible de afirmación.
Recíproco de arriba	Si la actividad i tiene uno de los números distintos de cero por encima asignados a ella cuando se compara con la actividad j, entonces j tiene el valor recíproco cuando se compara con i.	Una suposición razonable.
1.1-1.9	Para elementos indistintos.	Cuando las alternativas son cercanas y casi indistinguibles; 1.3 es débil y 1.9 absoluto.

Esta escala fue creada por Saaty, su rango va entre el 1 y 9, y responde a dos interrogantes, cual alternativa es más importante, y que tan fuerte es esa importancia [Saa10].

### 2.1.4 Método de solución e índice de inconsistencia

Usando AHP para modelar un problema, se necesita una jerarquía o una estructura de red que represente el problema, como comparaciones por pares para establecer relaciones dentro de la estructura [Saa10].

Hay un amplio número de formas de derivar el vector de prioridades de la matriz  $A=(a_{ij})$ , donde cada elemento  $a_{ij}$  representa la importancia de la alternativa  $i$  sobre la alternativa  $j$ . Pero el énfasis en la inconsistencia conduce a la formulación del vector propio  $Aw = nw$ . Con esto, se asume que las prioridades  $w = (w_1, \dots, w_n)$  con respecto a un criterio son conocidas, y se pueden usar para recuperar las relaciones de peso entre las alternativas  $x_1, \dots, x_n$  con lo cual se forma la matriz de comparación de relaciones y multiplicando sobre la derecha por  $w$  se obtiene  $nw$  como se ve a continuación.

$$\begin{pmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} = n \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} \quad (1)$$

Se comienza asumiendo que  $w$  fue entregado. Pero si solo se cuenta con  $A$  y se quiere recuperar  $w$ , se debe resolver el sistema de ecuaciones lineales homogéneas  $(A - nI)w = 0$  con  $w$  desconocido. Este sistema tiene una solución no trivial (distinta de 0) si y solo si  $n$  es un valor propio de  $A$ .

Si  $n$  es un valor propio de  $A$ , entonces  $w$  es el autovector asociado. Ahora  $A$  tiene rango unitario ya que cada fila es un múltiplo constante de la primera fila. Por lo tanto todos sus vectores propios excepto uno son cero. La suma de los autovalores de la matriz es igual a su traza, la suma de los elementos de la diagonal, y en este caso, la traza de  $A$  es igual a  $n$ . Por lo tanto,  $n$  es el mayor autovalor de  $A$ . La solución de  $Aw = nw$ , llamado el autovector de  $A$ , consta de valores positivos y es único dentro de una constante multiplicativa. Para hacer  $w$  único, se normalizan las columnas dividiéndolas por su suma. La solución es la versión normalizada de cualquier columna [Saa90].

La matriz  $A = (a_{ij})$ ,  $a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$   $i, j = 1, \dots, n$  cumple con dos propiedades:

- Recíprocidad:  $a_{ji} = 1/a_{ij}$  para todo  $i, j = 1, \dots, n$ .

- Consistencia:  $a_{jk} = a_{ik}/a_{ij}$  para todo  $i, j, k = 1, \dots, n$ .

En un ambiente general de toma de decisiones, la consistencia es difícil de lograr, por lo que no se pueden entregar los valores precisos de  $w_i/w_j$ , sino que solo estimaciones de ellas. Se consideran estimaciones de estos valores ya que son dados por un experto quien podría cometer pequeños errores al emitir su juicio. El problema se convierte en  $A'w' = \lambda_{max}w'$  donde  $\lambda_{max}$  es el mayor valor propio de  $A' = (a'_{ij})$  que corresponde a la matriz con valores perturbados de  $A = (a_{ij})$ . La interrogante ahora es, ¿En qué medida  $w$  refleja la opinión actual del experto?, es necesario notar que si se resuelve el problema y se obtiene  $w$ , la matriz que se obtendrá con las entradas  $w_i/w_j$  será una aproximación de  $A$  por una matriz consistente.

Para determinar si el  $w'$  asociado a  $\lambda_{max}$ , que es solución al problema, puede ser aceptado como tal, se utiliza el denominado índice de consistencia (CI, por Consistency Index, en inglés). Para el índice de inconsistencia se adopta el valor  $(\lambda_{max} - n)/(n - 1)$ . Este valor es comparado con el mismo índice obtenido como un promedio sobre un amplio número de matrices reciprocas del mismo orden cuyos valores son aleatorios, llamado índice promedio de consistencia aleatoria (RI, por Average Random Consistency Index, en inglés). Si el cociente, llamado relación de consistencia (CR, por Consistency Ratio, en inglés), entre CI y RI es significativamente pequeño, es decir, menor o igual al 10%, se acepta la estimación de  $w$ . De otra manera, se intenta mejorar la consistencia. Los valores del índice promedio de consistencia aleatoria (RI) se pueden ver en la Tabla 2.

Tabla 2: Average Random Consistency (R.I) [Saa10].

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Random Consistency Index (R.I)	0	0	.52	.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

### 2.1.5 Otros métodos de solución

Como se mencionó en la sección anterior, existen muchas maneras de obtener el vector de prioridades a partir de la matriz de comparación por pares, pero dada la naturaleza inconsistente de los juicios de los expertos, siempre se debe tener presente que el vector de prioridades será una aproximación a la opinión actual del experto. Además los resultados que arroja cada método se pueden comportar de manera distinta dependiendo del orden de la matriz de juicios asociada a un experto, y de los valores que tenga ésta.

En este proyecto no se utilizará como mecanismo de solución el método del vector propio propuesto por Saaty, sino que se optará por un método basado en distancias, el cual se verá en profundidad en la sección 2.2.3. Se ha optado por este método, debido a la necesidad de cuantificar las preferencias de un grupo de expertos y además tener la opción de trabajar con matrices incompletas, es decir, la opción de que los expertos puedan omitir comparaciones. Sin embargo, sí se tomarán varios elementos del Proceso Analítico Jerárquico, como son las matrices de comparación por pares, el cálculo de inconsistencia de dichas matrices y la metodología del modelo.

## **2.2 Modelo matemático para la cuantificación de preferencias de grupo**

### **2.2.1 Contexto de la problemática**

Se desean obtener las preferencias iniciales de los estudiantes que cursaron las mismas asignaturas, las cuales indicarán la intensidad de la preferencia dada a una asignatura sobre otra. Dichas preferencias serán entendidas como la percepción de haber dedicado tiempo total a una signatura ya cursada sobre otra.

De esta forma, la comparación para las preferencias es hecha de a pares entre todas las asignaturas cursadas por el estudiante y por todos los estudiantes que participen de un caso, quienes generarán matrices de comparación por pares.

A partir de las preferencias, y utilizando un método de solución basado en distancias, se buscará obtener el vector de pesos de las preferencias que representa la opinión de los estudiantes.

En la problemática a solucionar, se utilizará una variación de AHP, ya que en el nivel superior consta de una meta, la que consiste en escoger una asignatura, en el segundo nivel solo se consta de un criterio, el cual corresponde al tiempo dedicado a cada asignatura, y luego en el tercer nivel las alternativas, que corresponden a las asignaturas que cursa cada estudiante, por lo que es una decisión unicriterio. En la Figura 2 se puede apreciar el esquema que representa el modelo de solución que se propone.

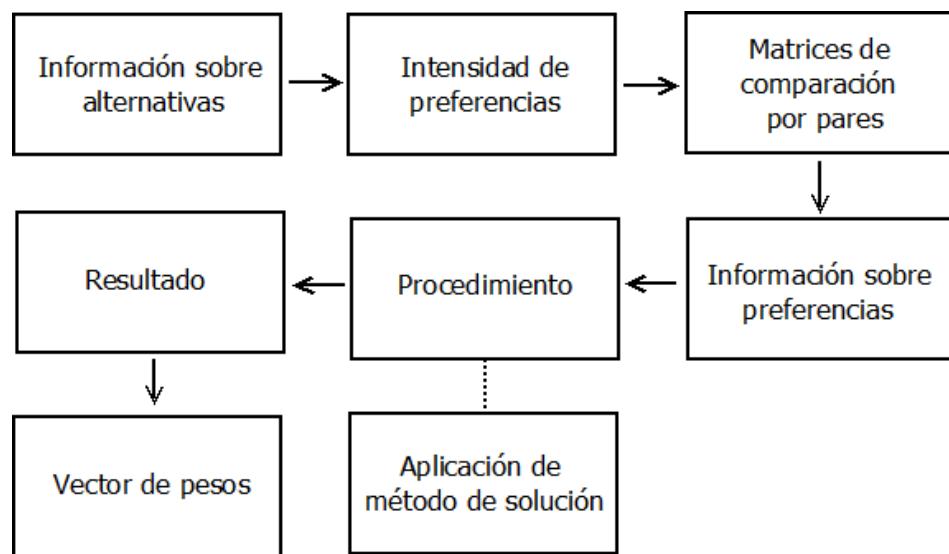


Figura 2: Modelo de solución para la cuantificación de preferencias de grupo [Boe07].

### 2.2.2 Matriz de comparación por pares y vector de pesos

El método de comparación por pares es una poderosa herramienta de inferencia que puede ser usada como una técnica para adquirir conocimiento para sistemas basados en conocimiento. Es útil para evaluar la importancia relativa de algunos objetos, cuando ésta no puede ser hecha por una clasificación directa. El problema de interés es derivar las prioridades de las comparaciones binarias utilizando el álgebra matricial [Dop02]. Se considera un conjunto finito de alternativas  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$   $n \geq 2$  y un experto que compara estas alternativas en la forma de comparaciones por pares en base a un criterio en común. Asignando el valor  $m_{ij} > 0$   $i, j = 1, \dots, n$  en la matriz, respondiendo la pregunta “entre el objeto  $x_i$  y  $x_j$ , cual es más importante y en que intensidad”. Las intensidades asignadas por los expertos responden a la escala de Saaty y permitirán definir la matriz de comparación por pares  $M = (m_{ij})$ , la cual se aprecia en la Figura 3.

$$M = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & \dots & m_{1n} \\ m_{21} & m_{22} & \dots & m_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{n1} & m_{n2} & \dots & m_{nn} \end{pmatrix} \quad m_{ij} = \text{Razón o intensidad de importancia entre las alternativas } x_i \text{ y } x_j$$

Figura 3: Matriz de comparación por pares.

Utilizando esta información, y un método de solución, el objetivo es asignar un vector de pesos  $(w_1, \dots, w_n)$  a las  $n$  alternativas reflejando los juicios cuantificados de un experto, almacenados en la matriz  $M$ .

Para descartar la solución trivial, al vector de pesos se le asigna la condición de normalización:

$$\sum_1^n Wi = 1 \quad (2)$$

Los valores  $m_{ij}$  de la matriz  $M$  asignados estiman la proporción de los pesos dados por  $w_{ij} = w_i / w_j$  y que forman la matriz  $W$ , que se considera ideal.

La matriz  $W$  cumple las siguientes propiedades:

- Reciprocidad:  $w_{ij}w_{ji} = 1$  para todo  $i, j$
- Consistencia:  $w_{ij}w_{ji} = w_{ik}$  para todo  $i, j, k$

### 2.2.3 Problema asociado

En la práctica, juicios imperfectos conducen a matrices de comparación por pares que no son recíprocas ni consistentes. El vector de preferencias es difícil de obtener de este tipo de matrices, por lo que el desafío es obtener el vector de pesos de matrices no ideales.

Un punto de vista basado en distancias podría ser adoptado para resolver el problema. Con este enfoque, el problema podría ser señalado como sigue: cómo se podría definir una matriz recíproca y consistente, que sea “tan cercana como sea posible a  $M$ ”. El vector de pesos asociado a  $M$  es obtenido a partir de  $W$ . La mayoría de los trabajos que usan este enfoque han sido basados sobre distancia euclídea.

Considerando  $M = m_{ij}$ , como una matriz de comparación por pares dada por un experto, si esta matriz verifica las propiedades de reciprocidad y consistencia, entonces existe un conjunto de números positivos,  $\{w_1, \dots, w_n\}$ , tales que  $m_{ij} = w_i / w_j$  para cada  $i, j = 1, \dots, n$ . Sin embargo, es esperable que la matriz  $M$  no verifique estas propiedades debido a la existencia de ruido, es decir, juicios imperfectos u otras razones sicológicas. Por lo tanto, el desafío es buscar el vector de pesos que sintetice las preferencias contenidas en una matriz general de comparación por pares [Dop02].

Los elementos de la matriz  $M$  serán considerados como perturbaciones de los elementos de una matriz ideal  $W$ , donde la reciprocidad y la consistencia están verificadas. Un método basado en distancias será usado para medir esta desviación.

El contraste entre el modelo y la realidad se esquematiza en la Figura 4.

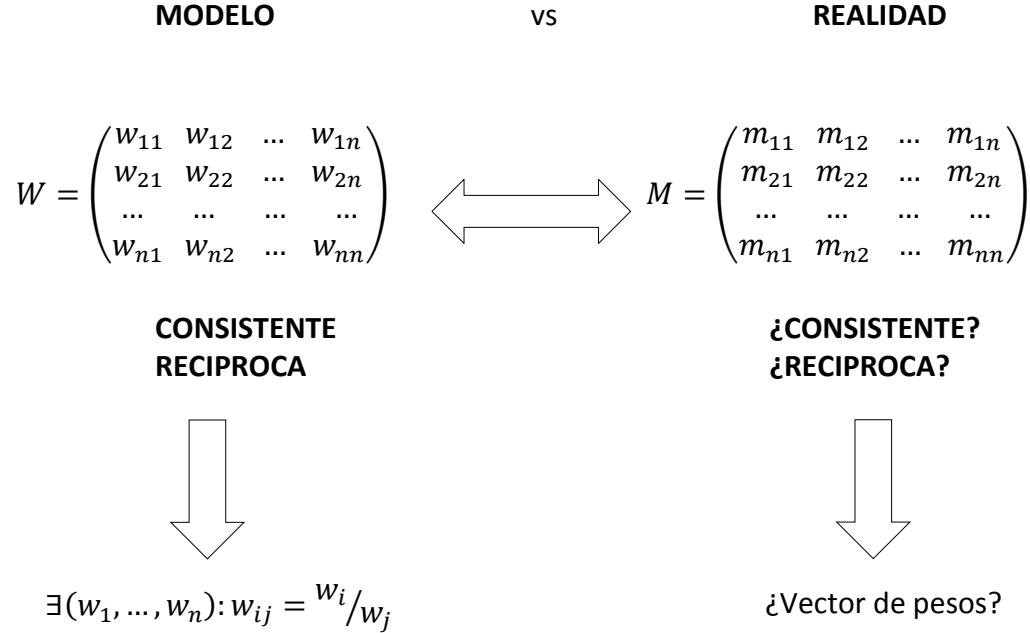


Figura 4: Contraste entre modelo y realidad de las matrices de comparación por pares [Boe07].

#### 2.2.4 Método basado en distancias

La clásica distancia euclídea es generalizada por una formulación basada en distancias  $l_p$ . Así, el problema de aproximación puede ser fijado como sigue:

$$\begin{aligned} \min & \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |m_{ij} - w_i|^p \right]^{1/p} \\ & w_{ij}w_{ji} = 1 \text{ para todo } i, j \\ & w_{ij}w_{jk} = w_{ik} \text{ para todo } i, j, k \\ & w_{ij} > 0 \text{ para todo } i, j \end{aligned} \tag{3}$$

El primer conjunto de restricciones está relacionado con las condiciones de reciprocidad de  $W$ . Mientras que el segundo conjunto de restricciones está relacionado con las condiciones de consistencia. Este problema de minimización no es manejable, porque hay un gran número de variables y restricciones no lineales involucradas.

Se sugiere que el valor  $m_{ij}$  dado por el experto sea considerado como una estimación de la razón de pesos  $w_i/w_j$  en la métrica  $p$ . Debido a que  $w_j > 0$  para todo  $j$ , se asume lo siguiente:

$$w_j m_{ij} - w_i \approx 0 \tag{4}$$

Así, el problema se señala como la minimización de valores residuales agregados.

$$r_{ij} = w_j m_{ij} - w_i \quad (5)$$

Se debe notar que las condiciones de reciprocidad y consistencia están implícitamente consideradas en esta estimación.

Por lo tanto, el siguiente problema de optimización es obtenido para la métrica  $p \in [1, \infty)$ .

$$\min \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |w_j m_{ij} - w_i|^p \right]^{1/p} \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad w_i > 0 \text{ para todo } i$$

Para  $p = \infty$ , la función objetivo se convierte en:

$$\min \left[ \max_{i,j} |w_k m_{ij} - w_i| \right] \quad (7)$$

En el problema planteado, la agregación residual es afectada por el parámetro  $p$ . Así, como  $p \in [1, \infty]$  aumenta, se da mayor importancia a los valores residuales. Entonces, el caso  $p = 1$  conduce a una estimación robusta, mientras las estimaciones  $p = \infty$  son más sensibles a los valores residuales extremos.

#### 2.2.4.1 Formulación en programación por objetivos

Una vez el marco de trabajo ha sido establecido, el enfoque debe estar en calcular el vector de pesos para diferentes métricas  $p$ . Una herramienta de optimización multiobjetivo, como programación por objetivos (GP), provee una herramienta flexible y operativa para la gestión de diferentes valores de  $p$ .

El problema de optimización presentado puede ser reducido a la formulación de programación por objetivos considerando la relación entre el modelo de función de distancia y programación matemática.

Utilizando la formulación basada en distancias  $lp$  y un enfoque GP, el problema de minimizar los residuos  $m_{ij}w_j - w_i \approx 0$  considera:

$$w_i - m_{ij}w_j + n_{ij} - p_{ij} = 0 \quad (8)$$

Con:

$$n_{ij} = \frac{1}{2} [|w_i - w_j m_{ij}| + (w_i - w_j m_{ij})]$$

$$p_{ij} = \frac{1}{2} [|w_i - w_j m_{ij}| + (w_i - w_j m_{ij})]$$

Las variables  $n_{ij}, p_{ij}$  expresan desviaciones negativas y positivas, respectivamente. De esta forma, considerando que en el caso ideal todas las preferencias son manifestadas en forma consecuente, esto es  $n_{ij} = 0$  y  $p_{ij} = 0$   $i, j = 1, \dots, n$ , se buscan soluciones positivas que minimicen la agregación de desviaciones [Boe07].

Así, para  $p \in [1, \infty)$ , el problema de optimización es equivalente al siguiente problema GP lineal de Arquímedes:

$$\min \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (n_{ij} + p_{ij})^p \right]^{1/p} \quad (9)$$

$$m_{ij}w_j - w_i + n_{ij} - p_{ij} = 0 \quad \text{para todo } i, j$$

$$\sum_i^n w_i = 1, \quad w_i > 0 \quad \text{para todo } i$$

$$n_{ij}, p_{ij} \geq 0 \quad \text{para todo } i, j$$

Para  $p = \infty$ , se muestra que el problema de optimización es equivalente al siguiente MINMAX o Problema GP de Chebyshev:

$$\min D \quad (10)$$

$$n_{ij} + p_{ij} \leq D \quad \text{para todo } i, j$$

$$m_{ij}w_j - w_i + n_{ij} - p_{ij} = 0 \quad \text{para todo } i, j$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad w_i > 0 \quad \text{para todo } i$$

$$n_{ij}, p_{ij} \geq 0 \quad \text{para todo } i, j$$

#### 2.2.4.2 Adaptación a un grupo de expertos

Se desea conocer el vector de pesos de un conjunto de alternativas a partir de las opiniones de un grupo de  $m$  expertos  $\{E_1, \dots, E_m\}$  manifestadas por cada uno en su propia matriz de comparación por pares [Boe07].

$$M^k = (m_{ij}^k) \quad k = 1, \dots, m \quad (11)$$

El problema consiste en obtener el vector de pesos a través de un método de solución. La situación se puede apreciar en la Figura 5.

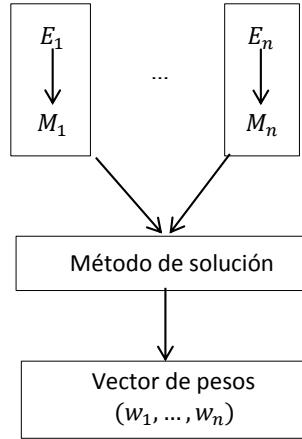


Figura 5: Obtención del vector de pesos a partir de las opiniones de varios expertos.

Utilizando la formulación basada en distancias  $lp$ , el problema de minimizar los residuos  $m_{ij}^k w_j - w_i \approx 0$  se expresa como:

Sea  $\{E_1, \dots, E_m\}$  un grupo de  $m$  expertos y  $M^k = (m_{ij}^k)$  la matriz  $n \times n$  de comparación por pares dada por el experto  $k$ , se deben determinar:

$$\text{Min} \left[ \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |m_{ij}^k w_j - w_i|^p \right]^{1/p} \text{ si } 1 \leq p < \infty \quad (12)$$

$$\text{Min} \left[ \max_{k,i,j=1,\dots,n} |m_{ij}^k w_j - w_i| \right] \text{ si } p = \infty$$

Contemplando las restricciones:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad w_i > 0 \quad i = 1, \dots, n$$

Es necesario señalar que no existe distinción de importancia entre los estudiantes.

Utilizando la formulación basada en distancias  $lp$ , con  $p \in [1, \infty)$ , y lo explicado anteriormente, el problema de minimizar las desviaciones para varios estudiantes se expresa mediante la función objetivo que se muestra a continuación:

$$\text{Min} \left[ \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (n_{ij}^k + p_{ij}^k)^p \right]^{1/p} \quad (13)$$

Sujeta a:

$$m_{ij}^k w_j - w_i + n_{ij}^k - p_{ij}^k = 0 \quad \text{para todo } i, j = 1, \dots, n \quad k = 1, \dots, m$$

$$\sum_i^n w_i = 1, \quad w_i > 0 \quad \text{para todo } i = 1, \dots, n$$

$$n_{ij}^k, p_{ij}^k \geq 0 \quad \text{para todo } i, j = 1, \dots, n \quad k = 1, \dots, m$$

Para el caso  $p = \infty$ , se considera la siguiente función objetivo:

$$\text{Min } D \tag{14}$$

Sujeta a:

$$n_{ij}^k + p_{ij}^k \leq D \quad \text{para todo } i, j = 1, \dots, n \quad k = 1, \dots, m$$

$$m_{ij}^k w_j - w_i + n_{ij}^k - p_{ij}^k = 0 \quad \text{para todo } i, j = 1, \dots, n \quad k = 1, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad w_i > 0 \quad \text{for all } i$$

$$n_{ij}^k, p_{ij}^k \geq 0 \quad \text{para todo } i, j = 1, \dots, n \quad k = 1, \dots, m$$

Con  $D$  una variable positiva adicional que cuantifica la desviación máxima e indica el máximo desacuerdo respecto al consenso alcanzado.

## 2.2.5 Modelos a implementar

En el desarrollo de la plataforma “Sistema de apoyo a la cuantificación de carga académica estudiantil a partir de comparaciones relativas” se implementaron los modelos que consideran las distancias  $lp$  con  $p = 1, p = 2$  y  $p = \infty$ .

Reescribiendo las formulaciones implementadas en la sección anterior, los modelos quedan descritos como se muestra a continuación [Boe07].

### 2.2.5.1 Modelo métrica p=1

Determinar:

$$\text{Min } \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (n_{ij}^k + p_{ij}^k) \tag{15}$$

Sujeta a:

$$m_{ij}^k w_j - w_i + n_{ij}^k - p_{ij}^k = 0 \quad \text{para todo } i, j = 1, \dots, n \quad k = 1, \dots, m$$

$$\sum_i^n w_i = 1, \quad w_i > 0 \quad \text{para todo } i = 1, \dots, n$$

$$n_{ij}^k, p_{ij}^k \geq 0 \text{ para todo } i, j = 1, \dots n \text{ } k = 1, \dots m$$

### 2.2.5.2 Modelo métrica $p=2$

Determinar:

$$\text{Min } \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left( (n_{ij}^k)^2 + (p_{ij}^k)^2 \right) \quad (16)$$

Sujeta a

$$m_{ij}^k w_j - w_i + n_{ij}^k - p_{ij}^k = 0 \text{ para todo } i, j = 1, \dots n \text{ } k = 1, \dots m$$

$$\sum_i^n w_i = 1, \quad w_i > 0 \text{ para todo } i = 1, \dots n$$

$$n_{ij}^k, p_{ij}^k \geq 0 \text{ para todo } i, j = 1, \dots n \text{ } k = 1, \dots m$$

### 2.2.5.3 Modelo métrica $p=\infty$

Determinar:

$$\text{Min } D \quad (17)$$

Sujeta a

$$n_{ij}^k + p_{ij}^k \leq D \text{ para todo } i, j = 1, \dots n \text{ } k = 1, \dots m$$

$$m_{ij}^k w_j - w_i + n_{ij}^k - p_{ij}^k = 0 \text{ para todo } i, j = 1, \dots n \text{ } k = 1, \dots m$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad w_i > 0 \text{ for all } i$$

$$n_{ij}^k, p_{ij}^k \geq 0 \text{ para todo } i, j = 1, \dots n \text{ } k = 1, \dots m$$

## 2.3 Implementaciones software que resuelven la problemática

Se revisaron tres aplicaciones de apoyo a la toma de decisiones. Para su selección se consideró la disponibilidad de documentación de éstas, y su posible aplicación sobre la problemática a solucionar. Al momento de analizarlas se puso especial énfasis en la interfaz de las aplicaciones, tanto la interfaz que permite crear casos o problemas de decisión como la interfaz que permite a los expertos emitir sus juicios, esto para tener una idea de las interfaces más usadas en el mercado, y ver qué elementos se podrían utilizar en el desarrollo de la interfaz de la plataforma.

### **2.3.1 Expert Choice**

Expert Choice<sup>2</sup> es un software para la toma de decisiones, que ha sido líder por más de 30 años. Implementa altos estándares basados en ciencias matemáticas y herramientas de organización en la fabricación de herramientas de toma de decisiones. Ofrece soluciones basadas en la nube para que equipos distribuidos puedan colaborar para resolver problemas complejos mediante un proceso de toma de decisiones estructurado, repetible y justificable.

Implementa el proceso de toma de decisiones AHP desarrollado en 1970 por el Dr.Thomas Saaty mientras él era profesor en el Wharton School of Business. El Dr. Thomas Saaty se unió al Dr. Ernest Forman, un profesor de ciencias de la gestión en Goerge Washington University, para co-fundar Expert Choice.

La revisión del software se hizo mediante una versión trial de Expert Choice Companion, que entregaba la posibilidad de crear problemas de decisión e invitar expertos para que participen de ellos, por lo que se pudo probar tanto el módulo de administración como el módulo del experto. Debido a que la confección de este documento se realizó luego de que expiró la versión trial, las imágenes que aparecen en este documento no corresponden a esas pruebas, sino que a imágenes del módulo de ayuda Companion Help [Exp] y a la guía de inicio rápido [Qui13].

#### **2.3.1.1 Experiencia**

Una vez que el usuario se ha *logueado*, éste puede ver todos los proyectos que ha creado y además puede crear nuevos proyectos, los cuales se pueden crear a partir de un archivo, de un template, o completamente desde cero. Una vez creado el proyecto, todos sus ítems se pueden ir completando por medio de una barra, la cual muestra las etapas necesarias para estructurar el proyecto, y en cada etapa un submenú, como se ve en la Figura 6.

---

<sup>2</sup> Ver <http://expertchoice.com/about-us/our-decision-making-methodology/>



Figura 6: Menú de un proyecto [Qui13].

Por medio del menú, se puede establecer la meta del proyecto y los criterios, con los que se forma la jerarquía de criterios del proyecto, como se ve en la Figura 7.

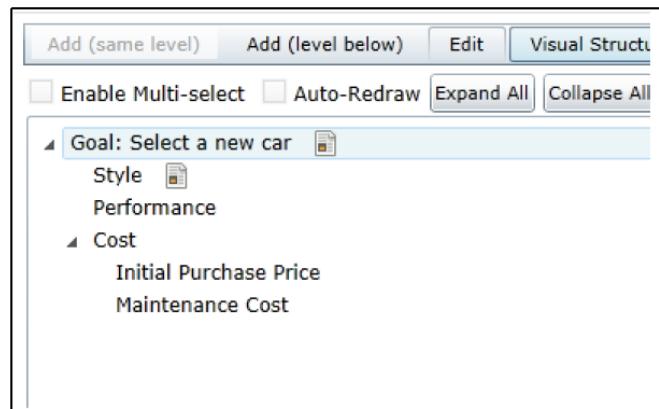


Figura 7: Jerarquía de criterios [Qui13].

Posteriormente el usuario puede agregar las alternativas, con lo que se forma la jerarquía de alternativas del proyecto, como se ve en la Figura 8. De manera adicional, el usuario puede escoger qué alternativas contribuyen a los objetivos o criterios. La opción por defecto es que todas las alternativas contribuyan a todos los criterios.

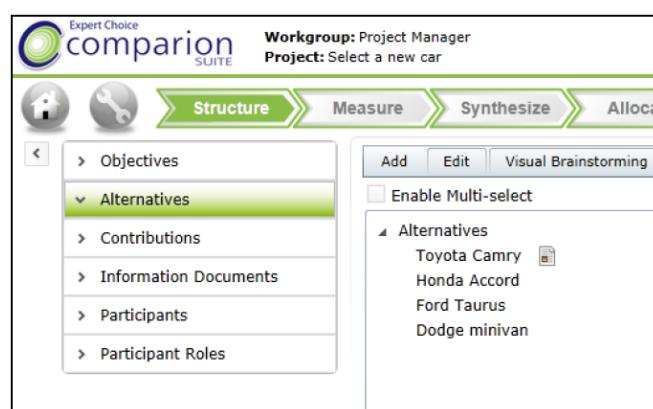


Figura 8: Jerarquía de alternativas [Qui13].

Una vez ha sido construida la estructura del proyecto, se pueden agregar los expertos. Estos se pueden agregar por grupo o de manera individual. Pueden crearse distintos grupos, o utilizar el grupo por defecto, que contiene a todos los expertos. Posteriormente se pueden asignar roles a los participantes, seleccionándolos de manera individual o por grupo, lo cual permitirá que los expertos puedan participar en la elección de alguno o todos los objetivos.

En cualquier momento el creador del proyecto puede invitar a los participantes a la evaluación, quien puede filtrar a los participantes que desea invitar, y crear un mensaje para estos, el cual les llegará a los participantes mediante correo electrónico, lo cual se aprecia en la Figura 9. Posteriormente los participantes solo deben hacer clic en el enlace que les llegará junto con el mensaje para participar de la evaluación.

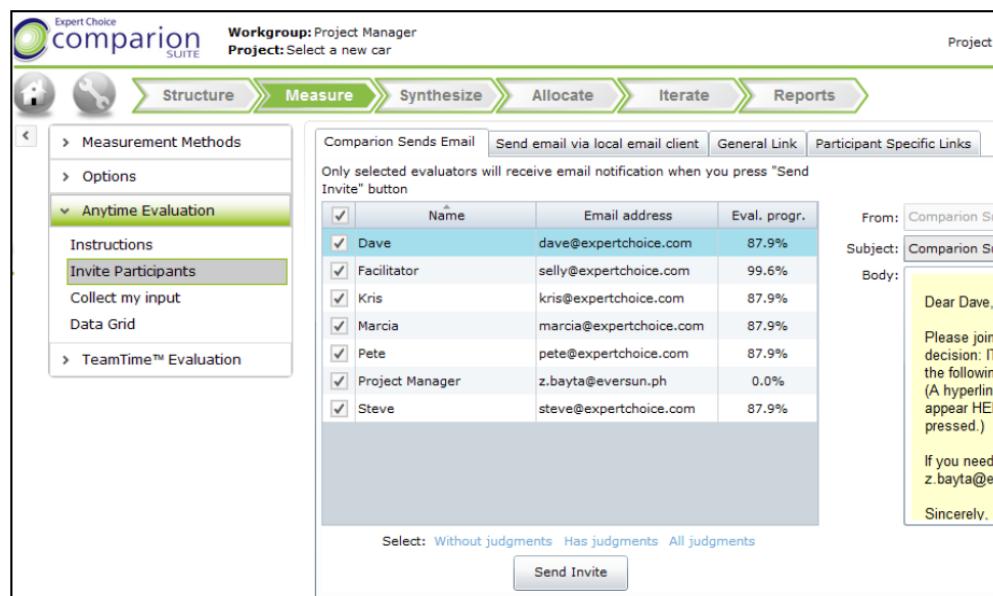


Figura 9: Pantalla de invitación de participantes [Qui13].

Una vez que los participantes han participado de la evaluación, el creador del proyecto puede revisar los resultados, para lo cual cuenta con varias herramientas, entre ellas, gráficos de barras que muestran las prioridades de las alternativas para todos los participantes (Figura 10), análisis de sensibilidad (Figura 11), y otras como sensibilidad de rendimiento, gradiente de sensibilidad y análisis 2D, que le permiten al creador del proyecto analizar a fondo los datos obtenidos.

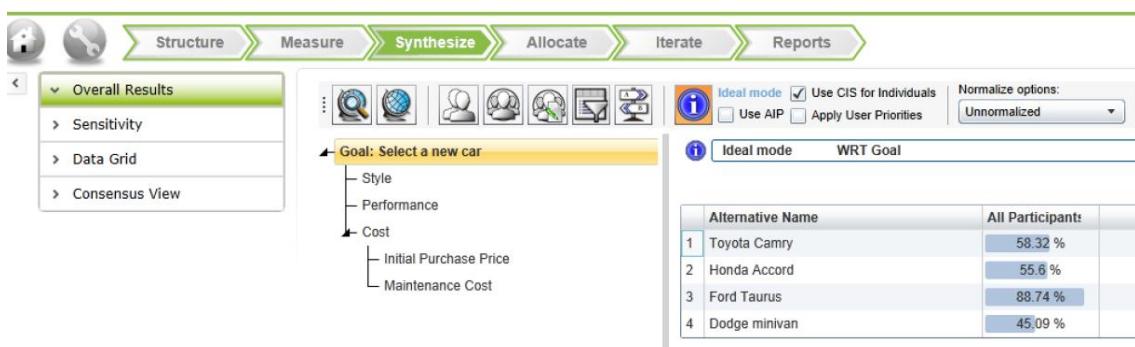


Figura 10: Pantalla de resultados globales [Exp].

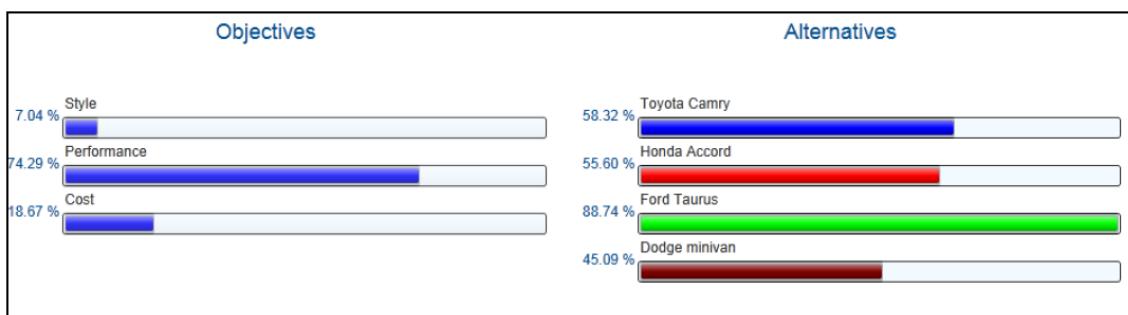


Figura 11: Sensibilidad dinámica basada en los juicios de los participantes [Expl].

Por parte del experto, dependiendo de la configuración del proyecto hecha por el administrador, podrá evaluar los objetivos o criterios y posteriormente las alternativas de distintas maneras.

Se puede utilizar la comparación verbal por pares para comparar la importancia relativa de los criterios, tal como se ve en la Figura 12.



Figura 12: Comparación verbal por pares [Exp].

Los criterios también pueden ser comparados mediante comparaciones verbales de múltiples parejas, tal como se ve en la Figura 13

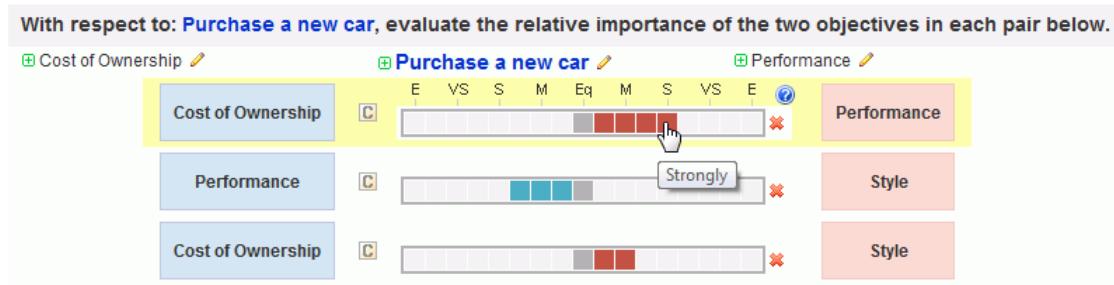


Figura 13: Comparación verbal de múltiples [Exp].

Otra manera de comparar los criterios es mediante comparación gráfica/numérica por pares, tal como muestra la Figura 14.



Figura 14: Comparación gráfica/numérica por pares [Exp].

Los criterios también se pueden comparar mediante la configuración gráfica/numérica de múltiples parejas (Figura 15).

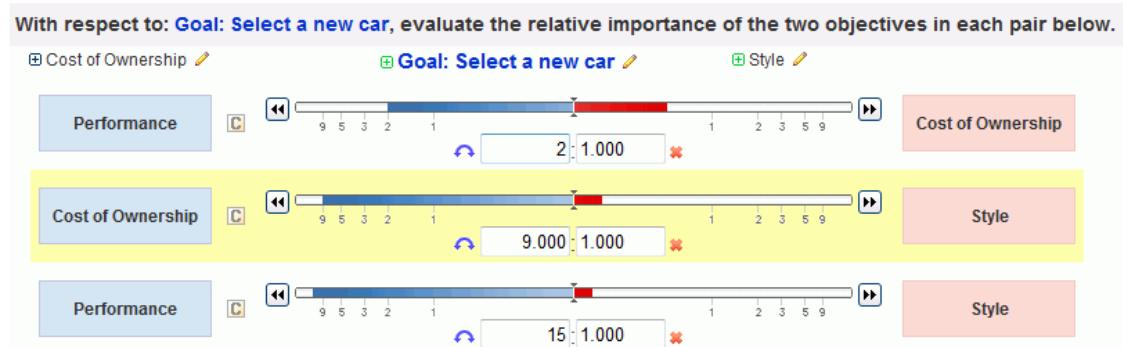


Figura 15: Comparación gráfica/numérica de múltiples parejas [Exp].

Otra opción es ingresar directamente las entradas por objetivos (Figura 16).

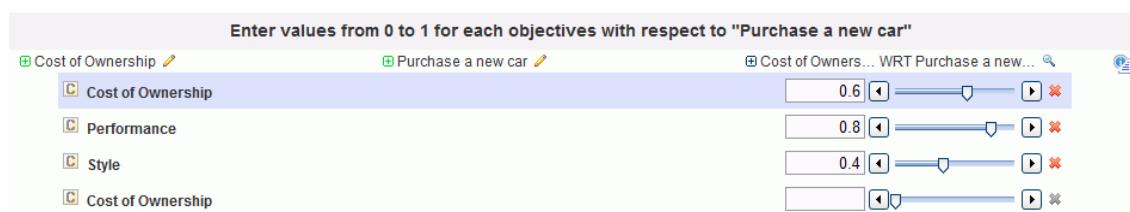


Figura 16: Ingreso directo de entradas para objetivos [Exp].

Las alternativas pueden ser evaluadas utilizando todas las formas que se mostraron anteriormente, y además se pueden evaluar utilizando la clasificación de todas las alternativas con respecto a un objetivo, como se muestra en la Figura 17.



Figura 17: Clasificación de alternativas con respecto a un objetivo [Exp].

Cuando el experto ha terminado de realizar la evaluación, éste puede ver las prioridades de los objetivos con respecto a la meta para sus juicios, las prioridades de las alternativas con respecto a un criterio u objetivo, y también las prioridades globales. De manera adicional, el experto también puede realizar análisis de sensibilidad en base a sus resultados, de manera similar a los que realiza el administrador del proyecto.

### 2.3.1.2 Comentarios

La versión trial del Expert Choice Companion a la cual se tuvo acceso permite conocer gran parte de las funcionalidades de la plataforma, ya que permite crear casos, invitar participantes, evaluar casos, analizar los resultados, etc. Esto permite hacerse una buena idea de sus características y de su potencial.

Al ser una plataforma web, Companion se hace de muy fácil acceso, ya que solo se necesita tener un navegador web, y dentro de éste, tener instalado Microsoft Silverlight<sup>3</sup> para acceder a él.

Sus características de plataforma web, permiten que muchos expertos puedan participar de un caso, y de manera distribuida, lo cual lo hace una herramienta bastante potente para el trabajo colaborativo en la resolución de problemas de decisión complejos.

---

<sup>3</sup> Disponible en: <http://www.microsoft.com/silverlight/>

Con respecto a su interfaz, destacan la manera secuencial en la cual se puede estructurar un proyecto, por el lado del administrador, y la gran variedad de formas mediante los cuales el experto puede manifestar sus juicios. Sumado a esto, también destacan los distintos tipos de gráficos para desplegar los datos, los filtros, y los análisis de sensibilidad que se pueden realizar una vez que son obtenidas las prioridades.

En conclusión Expert Choice Companion, es una aplicación que permite el trabajo colaborativo de expertos de manera rápida y sencilla, sin requerir por parte de ellos grandes conocimientos computacionales ni tampoco sobre materia de decisión. Además por sus características de plataforma web, se convierte en una aplicación portable capaz de funcionar en cualquier sistema operativo.

### **2.3.2 Plataforma web de apoyo a la toma de decisiones de grupo basadas en preferencias**

Es el prototipo de un software para la toma de decisiones, creado por Renato Boegeholz para validar su proyecto de tesis y así optar al Título de Ingeniero Civil en Informática en la Universidad Austral de Chile [Boe07]. El proyecto de tesis de Boegeholz consistió en desarrollar una plataforma que fuera capaz de apoyar la toma de decisiones de grupo bajo condiciones de imprecisión, esto mediante un esquema en que las preferencias se manifiestan como intervalos de valores numéricos dentro de una escala que permite la expresión de preferencias a partir de pares de opciones. El método que entrega una solución grupal consensuada a partir de las preferencias intervalares individuales corresponde a un método basado en distancias que implementa diferentes métricas  $p$ , tales como la métrica uno, dos e infinito [Boe07].

$p$

Debido a que la plataforma desarrollada fue un prototipo, que solo se usó para validar un caso de prueba y así demostrar su validez, no se tuvo acceso a ella, por lo que la experiencia comentada corresponde a la que aparece en el documento de tesis de Boegeholz, que explica con detalle su funcionamiento.

#### **2.3.2.1 Experiencia**

Una vez que el usuario se ha *logueado*, y tiene acceso al sistema, se despliega la lista de casos a los que tiene acceso, tal como se ve en la Figura 18.

renato		[?] [Salir]
<a href="#">Inicio</a>		<a href="#">Casos</a>
<a href="#">Agregar</a>		
Datos del caso	[Ver] [Opinar] [Borrar]	
Código : CA_20071105_174517		
Nombre : Caso de Ejemplo		
Expertos : 3		
Alternativas: 3		
Estado : Creado - Activo [Desactivar]		
Rol : Administrador/a - Experto/a		
Datos del caso	[Ver] [Opinar] [Borrar]	
Código : CA_20071128_155043		
Nombre : Cerveza para Celebrar		
Expertos : 19		
Alternativas: 4		
Estado : Creado - Activo [Desactivar]		
Rol : Administrador/a - Experto/a		
Datos del caso	[Ver] [Borrar]	
Código : CA_20071130_145235		
Nombre : Prueba para Métricas		
Expertos : 2		
Alternativas: 3		
Estado : Creado - Inactivo [Activar]		
Rol : Administrador/a - Experto/a		

Figura 18: Lista de casos a los que el usuario tiene acceso [Boe07].

Si el usuario tiene rol de experto en un caso, puede manifestar sus preferencias presionando el enlace “Opinar” en el recuadro de uno de los casos a los que tiene acceso.

Luego de presionar el enlace “Opinar”, el usuario accede a la lista de pares de alternativas disponibles, la cual se ve en la Figura 19.

Caso de Ejemplo		[Volver]
Alternativa A / Alternativa B	Emitida	Lun 05.11.07 17:47:42 hrs. [Opinar] [Ver]
Alternativa A / Alternativa C	Emitida	Lun 05.11.07 18:48:02 hrs. [Opinar] [Ver]
Alternativa B / Alternativa C	No emitida	[Opinar]

Figura 19: Alternativas disponibles para la opinión de un experto [Boe07].

En la lista, mostrada en la figura 18, se indica qué pares de alternativas ya fueron evaluados y cuáles no. El usuario puede proceder a manifestar su opinión presionando “Opinar” en uno de los pares. Esta acción produce el despliegue de la interfaz de manifestación de preferencias donde se presenta la escala de preferencias con un título que indica la alternativa preferida de entre las del par en evaluación, la cual se ve en la Figura 20.



Figura 20: Interfaz de manifestación de preferencia [Boe07].

Para manifestar su preferencia, el experto debe seguir un procedimiento de cuatro pasos. Este procedimiento es descrito en uno de los enlaces de ayuda disponibles en la misma interfaz, y se puede ver en la Figura 21.

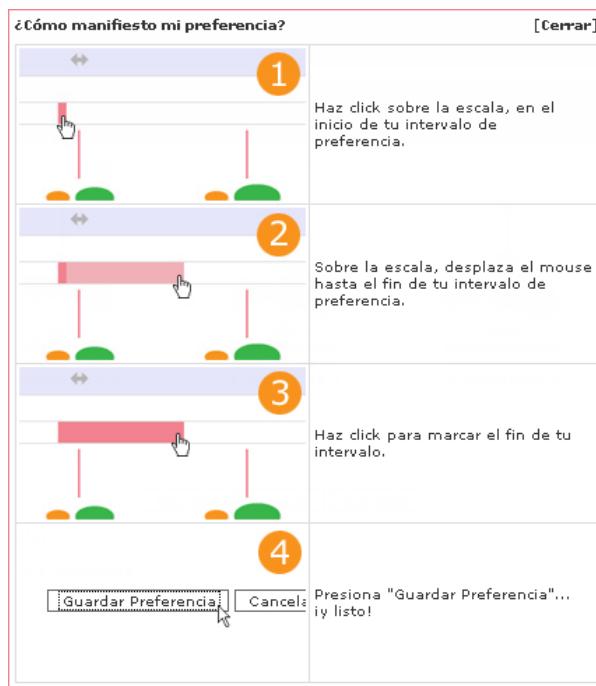


Figura 21: Procedimiento para la manifestación de una preferencia [Boe07]

Para acceder a soluciones, o generar una nueva, debe presionarse el enlace “Ver” en el recuadro de uno de los casos al que el usuario tiene acceso, listados al ingresar a la plataforma.

Presionando el enlace mencionado, se despliega la información del caso como se muestra en la Figura 22.

The screenshot displays a software application window titled "renato". At the top right are "[?] [Salir]" buttons. Below them are "Inicio" and "Casos" buttons. The main area is divided into several sections:

- Datos del caso**: Includes fields: Código : CA\_20071105\_174517, Nombre : Caso de Ejemplo, Expertos : 3, Alternativas: 3, Estado : Creado - Activo.
- Alternativas**: Lists three alternatives: X01: Alternativa A, X02: Alternativa B, X03: Alternativa C.
- Opiniones**: A table showing opinions from experts:
 

Experto	Manifestadas	No manifestadas	Última opinión
renato	3	0	Lun 05.11.07 18:48:14 hrs.
ricardo	3	0	Mar 06.11.07 11:29:30 hrs.
roberto	3	0	Mie 07.11.07 15:30:40 hrs.
- Soluciones**: A table showing existing solutions:
 

Código	Métrica P	Comentario	[Nueva]
RE_20071108_093132 1	Primera ronda	[Ver] [Eliminar]	
RE_20071108_093339 2	Segunda ronda	[Ver] [Eliminar]	

Figura 22: Información de un caso y sus soluciones [Boe07]

Si ya existen soluciones para el caso, pueden visualizarse presionando el enlace “Ver” de cada una.

Si el usuario es administrador del caso, puede generar una nueva solución presionando el enlace “Nueva”, lo que lleva a la interfaz de selección de métrica de solución (Figura 23). La solución se genera presionando el botón “Resolver”.

The dialog is titled "Configuración de la nueva solución". It contains the following fields:

- Métrica**: Radio buttons for selecting a metric:
  - Métrica 1
  - Métrica 2
  - Métrica Infinito
- Comentario**: A text input field.
- Cancelar** and **Resolver** buttons at the bottom.

Figura 23: Creación de una solución [Boe07]

Al generar una nueva solución o revisar una existente, se obtiene la información mostrada en la Figura 24.

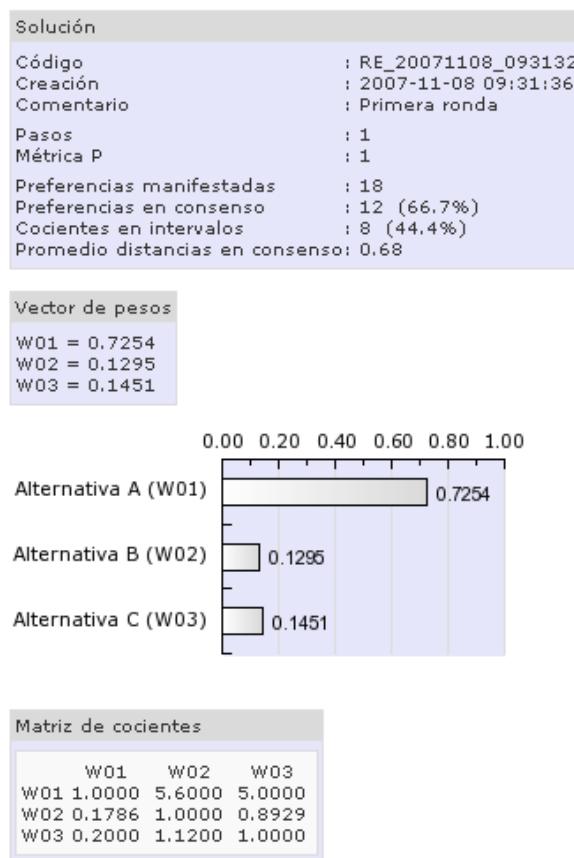


Figura 24: Información de una solución de un caso [Boe07]

La información de la solución incluye la métrica de solución utilizada, las métricas de resultado, el vector de pesos de alternativas y su representación gráfica, además de la matriz de cocientes.

### 2.3.2.2 Comentarios

Las funcionalidades descritas en el documento de tesis de Boegeholz, a las cuales se han hecho referencia en este documento, permiten apreciar a cabalidad las características de esta plataforma.

Al ser una plataforma web, cuenta con las mismas características de portabilidad que Expert Choice Companion, es decir, es de fácil acceso, y permite el trabajo colaborativo y distribuido de varios expertos por medio del navegador web.

Con respecto a su interfaz, se destaca la simpleza con la cual se muestra la información de cada caso, la que facilita mucho su comprensión. A pesar de que cuenta con un solo mecanismo para manifestar los juicios, éste cumple a cabalidad con su objetivo, ya que permite al experto manifestar juicios imprecisos, dándole mayor libertad al momento de colaborar en la resolución de un problema de decisión.

En conclusión, esta plataforma, al igual que Expert Choice Companion, es una aplicación que permite el trabajo colaborativo de expertos de manera rápida y sencilla, pero con muchas menos funcionalidades que ésta. Conserva la portabilidad característica de las aplicaciones web y no requiere tener grandes conocimientos computacionales ni tampoco sobre materia de decisión por parte de los expertos. La gran diferencia con Expert Choice Companion, es que permite la manifestación de juicios imprecisos por parte de los expertos.

### **2.3.3 Hipre+**

Hipre+ es un software de soporte de decisiones que integra dos métodos de análisis de decisión y resolución de problemas. AHP (Proceso Analítico Jerárquico) y SMART (Técnica de clasificación multiatributo simple). Este software puede ejecutar ambos métodos de forma independiente o combinarlos en un solo modelo. Fue creado por Raimo P. Hämäläinen y está diseñado para ser una poderosa y sencilla herramienta para ser utilizada por los propios responsables de las decisiones [Hip].

Web-HIPRE es la versión Web de HIPRE 3+, esta implementada como applet Java, y ofrece una interfaz visual y personalizable, que permite la estructuración y análisis de cuestiones complejas [Hipb].

#### **2.3.3.1 Experiencia**

Una vez iniciado el applet, se abrirá una ventana que es bastante similar a una aplicación de escritorio, la cual tiene un menú superior donde se encuentran agrupadas las opciones.

Para resolver un problema, primero se debe crear su jerarquía. Utilizando el espacio de trabajo se pueden crear criterios u objetivos y alternativas. Posteriormente estos se pueden relacionar para crear jerarquías, tal como se ve en la Figura 25.

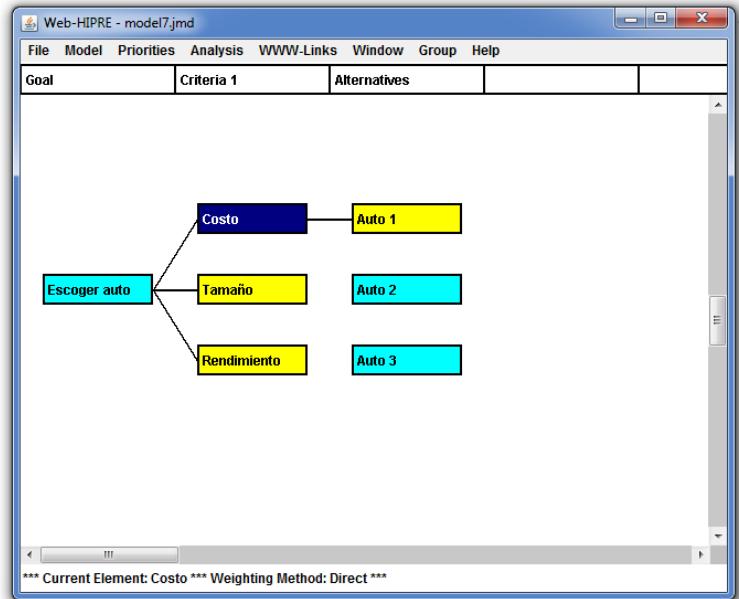


Figura 25: Estructura jerárquica incompleta<sup>4</sup>

Cuando la estructura jerárquica está lista, se pueden definir las prioridades para cada nivel. Utilizando el método AHP, se aprecia una interfaz que permite comparar criterios u objetivos y alternativas de diferentes maneras, tal como se ve en la Figura 26.

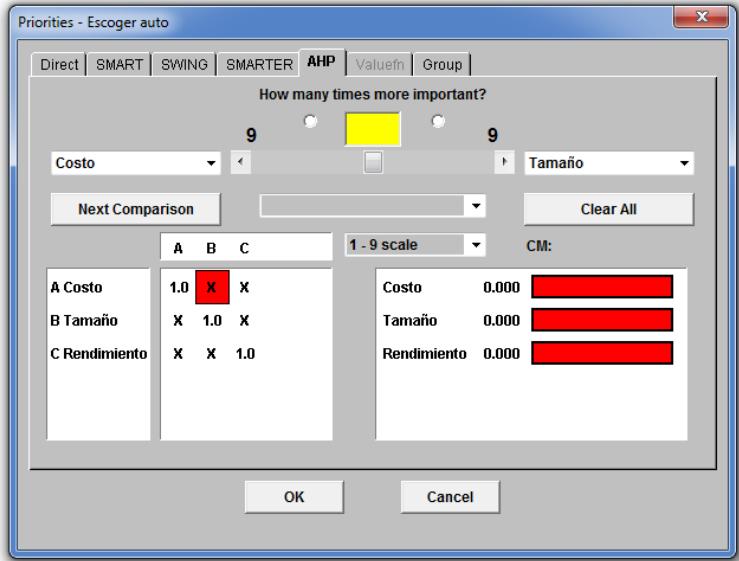


Figura 26: Manifestación de preferencias<sup>5</sup>

Se distingue la matriz de comparación por pares de las opciones a comparar. Se puede utilizar el slider para manifestar la intensidad de las preferencias por una de las opciones o se puede utilizar el *radio button* para escoger una opción, y luego manifestar la intensidad de manera verbal y numérica por medio del *combobox*. Esto se realiza para

<sup>4</sup> Estructura jerárquica incompleta realizada en Web-HIPRE

<sup>5</sup> Manifestación de preferencias en Web-HIPRE

cada par de opciones usando el botón *Next Comparison* o seleccionando un elemento específico de la matriz de comparación por pares.

Una vez hecha la priorización de todas las opciones, ya sean criterios o alternativas, se puede ver la solución a través del ranking de alternativas, tal como se ve en la Figura 27.

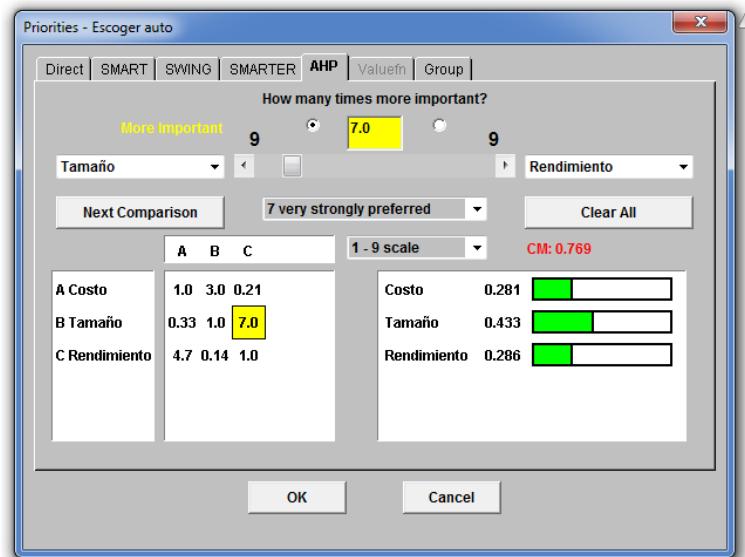


Figura 27: Manifestación de preferencias completa<sup>6</sup>

Al finalizar el proceso de priorización, es decir, todas las comparaciones de las alternativas con respecto a todos los criterios, y todos los criterios comparados entre sí con respecto al objetivo global, se puede ver la solución en forma gráfica. Como se aprecia en la Figura 28, se pueden modificar las barras del gráfico en base al aporte de cada elemento de la jerarquía.

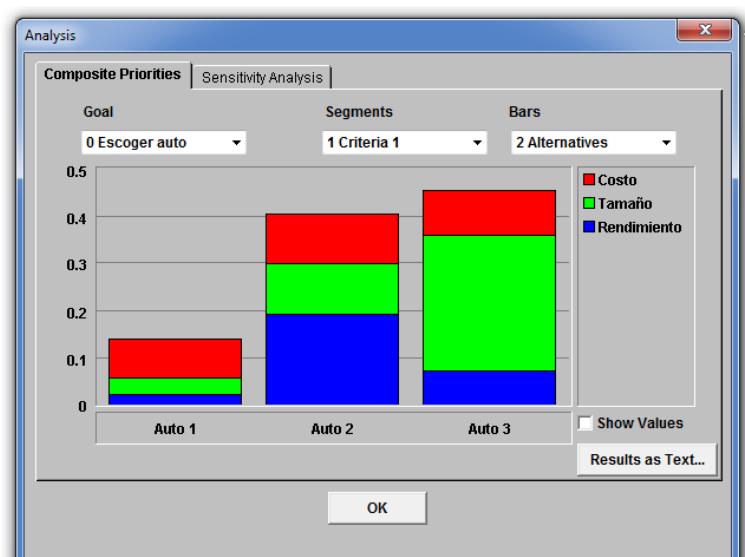


Figura 28: Solución de un caso<sup>7</sup>

<sup>6</sup> Manifestación de preferencias completa en Web-HIPRE

<sup>7</sup> Solución de un caso en Web-HIPRE

Además se pueden utilizar las preferencias manifestadas para realizar un análisis de sensibilidad, tal como se ve en la Figura 29.

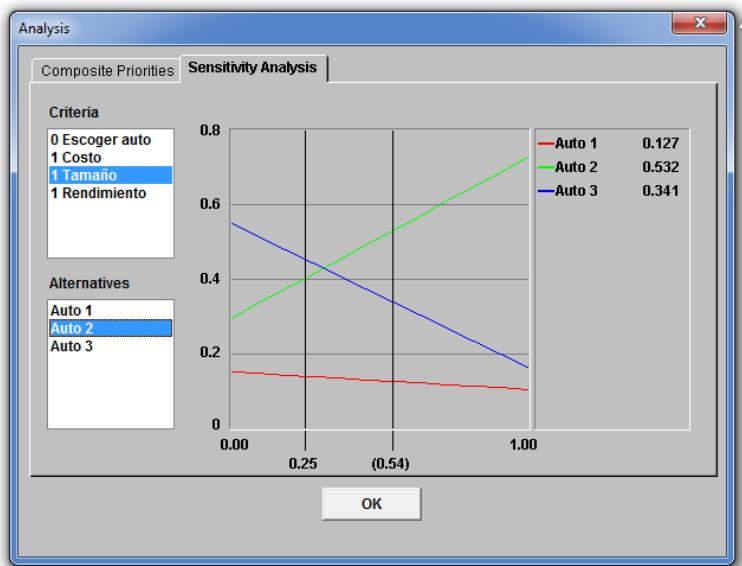


Figura 29: Análisis de sensibilidad<sup>8</sup>

### 2.3.3.2 Comentarios

Web-HIPRE, es aparentemente la versión de software más antigua que fue probada, ya que su última actualización data del año 1995 [Hipa]. A pesar de esto, al ser un applet Java de acceso Web, es de fácil acceso al igual que los otros dos software.

Con respecto a su interfaz, es bastante sencilla e intuitiva, y permite estructurar, resolver y analizar problemas de decisión de manera rápida, gracias a sus mecanismos gráficos que acompañan todo el proceso.

Su gran diferencia con respecto a los otros dos software, vistos en la sección 2.3.1 y 2.3.2, es la dificultad para trabajar de manera colaborativa en un mismo problema, ya que requiere guardar el problema, para que este quede público, y de esa manera pueda ser accesado por otros expertos participantes. Posteriormente es necesario revisar de manera manual el problema, para ver si se realizaron cambios sobre éste. Cabe resaltar que este software se diseñó con el fin de ayudar a los expertos a resolver sus propios problemas de decisión y no para que éstos trabajen de manera colaborativa.

---

<sup>8</sup> Análisis de sensibilidad en Web-Hipre

### 3 ARQUITECTURA DE LA PLATAFORMA

En este capítulo se presenta la arquitectura y las tecnologías involucradas en el desarrollo de la plataforma. Debido a los requisitos del proyecto se contemplan herramientas relacionadas con una arquitectura tipo cliente servidor.

#### 3.1 Arquitectura cliente-servidor

Para desarrollar la plataforma de una manera mucho más ordenada y eficiente, se optó por utilizar la programación por capas o arquitectura de tres niveles, la cual corresponde a una especialización de la arquitectura cliente-servidor que permite separar la lógica de negocios de la lógica de diseño, y que separa la arquitectura de la plataforma en tres niveles o capas, que corresponden a la capa de presentación, capa de negocio y capa de datos. La arquitectura obtenida al implementar el patrón de diseño se muestra en la Figura 30.

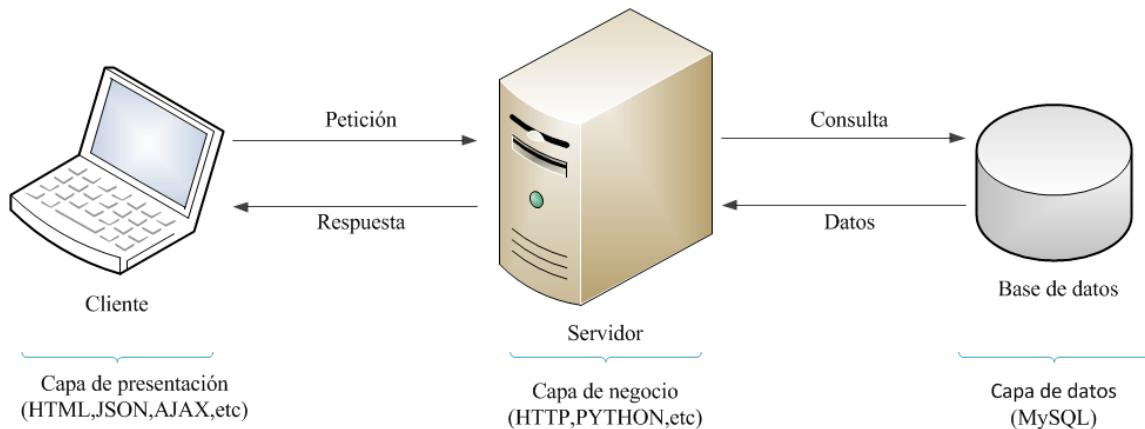


Figura 30: Arquitectura cliente-servidor de la plataforma<sup>9</sup>

Con respecto al desarrollo de la plataforma, la principal ventaja es que éste se puede llevar a cabo en varios niveles, lo cual facilita la identificación y solución de problemas, y la aplicación de cambios, ya que solo se debe trabajar en el nivel o capa correspondiente, lo cual permite que no se tenga que revisar código mezclado y que se puedan realizar modificaciones sin afectar a las otras capas. Otra ventaja es que una vez que la plataforma se encuentra funcionando se facilita su mantenimiento.

Con respecto a los usuarios de la plataforma, este tipo de arquitecturas también entrega ciertas ventajas, ya que al tener una capa de presentación, permite desarrollar interfaces

<sup>9</sup> Elaboración propia

gráficas interactivas que facilitan la comunicación del usuario con el sistema, y además permite validar o filtrar la información que entrega, por lo que solo se envía a la capa de negocios la información que se considera correcta. En el caso específico de plataformas del área matemática, o que realizan cálculos complejos, el usuario puede acceder a información de manera rápida, ya que todos los cálculos se realizan en la capa de negocio, por lo que éste no necesita tener un equipo de gama alta para utilizarla.

## 3.2 Tecnologías para el desarrollo de la plataforma

A continuación se presentan las distintas tecnologías utilizadas para el desarrollo de la plataforma en sus respectivas capas.

### 3.2.1 Capa de presentación

Esta es la capa de la arquitectura que el usuario ve, en ésta se presenta el sistema al usuario, se le muestra la información y se captura la información de éste para que sea enviada a la capa de negocio. Es conocida como interfaz gráfica y debe tener la característica de ser entendible y fácil de usar para el usuario. Debe entregar al usuario todas las herramientas necesarias para que éste pueda realizar una correcta interacción con el sistema. Entre las tecnologías usadas en esta capa se encuentran las habituales en el desarrollo Web, tales como HTML<sup>10</sup>, CSS<sup>11</sup> y JavaScript junto con otras que se describirán a continuación.

#### 3.2.1.1 JQuery

JQuery es una librería JavaScript rápida, liviana y con amplias funcionalidades. Hace mucho más simple tareas como recorrer y manipular un documento HTML, manejar eventos, animaciones, e interacciones Ajax<sup>12</sup> por medio de una API fácil de usar que funciona a través de múltiples navegadores. Con una combinación de versatilidad y capacidad de ampliación, esta librería busca cambiar la forma en que las personas escriben JavaScript [Jqua].

El uso de esta librería se sustenta en el hecho de que es una de las tecnologías más usadas actualmente en el desarrollo web, por lo que posee una amplia documentación y que permite manejar fácilmente varios ítems dentro de la propia capa de presentación,

---

<sup>10</sup> HTML: HyperText Markup Language *cascading style sheets*

<sup>11</sup> CSS: Cascading style sheets

<sup>12</sup> Ajax: Asynchronous JavaScript And XML

como son el manejo de eventos dentro de la interfaz gráfica, el manejo de la información que se envía y se recibe de la capa de negocio y el manejo de la información que se desea mostrar al usuario.

Además posee una amplia variedad de complementos que facilitan el desarrollo, y que enriquecen la interfaz gráfica, haciendo que ésta sea mucho más usable para el usuario.

### **3.2.1.2 JQuery UI (User Interface)**

JQuery UI es un conjunto de interacciones para la interfaz de usuario, efectos, widgets, y temas incorporados en la Librería JQuery Javascript. Se recomienda su uso para aplicaciones Web altamente interactivas [Jqub].

JQuery UI ha sido construido para diseñadores y desarrolladores por igual. Todos sus plugins han sido diseñados para que puedan ponerse en funcionamiento rápidamente y con la flexibilidad suficiente para evolucionar con las necesidades y de esa manera resolver una gran cantidad de casos de uso.

El uso de JQuery UI se debe principalmente a los widget que trae incluidos, los cuales contribuyeron a desarrollar funcionalidades importantes para la plataforma, permitiendo el ahorro de tiempo con respecto al desarrollo de componentes gráficos, y de esa manera dedicarle más tiempo a otras tareas relativas a la capa de negocios, o a los eventos propios de la interfaz gráfica.

### **3.2.1.3 D3.js y NVD3**

D3.js es una librería de JavaScript para la manipulación de documentos basados en datos. D3 ayuda a visibilizar los datos usando HTML, SVG<sup>13</sup> y CSS. El énfasis de D3 sobre los estándares web entrega todas las capacidades de los navegadores modernos sin encasillarse en un framework propietario, combinando poderosos componentes de visualización y un enfoque de manejos de datos a la manipulación del DOM<sup>14</sup> [Dat].

A pesar de que el objetivo de las librerías D3 y JQuery es distinto, ambas librerías tienen cosas en común, como el hecho de que ambas están basadas en JavaScript, permiten manipular el DOM, están basadas en los estándares Web, usan selectores CSS, lo cual

---

<sup>13</sup> SVG: Scalable Vector graphics

<sup>14</sup> DOM: Document Object Model

facilita el aprendizaje de uso y su posterior implementación. Esta librería es de código libre, y se encuentra en constante actualización, además cuenta con gran documentación, y un gran número de ejemplos, los que sirven a modo de tutorial.

NVD3 es un proyecto que consiste en un intento de construir gráficos reutilizables y componentes gráficos para D3. Es una colección bastante nueva de componentes, que tiene el objetivo de mantenerse muy personalizable, y alejada de las soluciones estándar [Nvd].

Dentro de los requisitos de la plataforma está la necesidad de mostrar los datos obtenidos a partir de las preferencias manifestadas por los alumnos. La forma principal de mostrar los datos es mediante distintos gráficos, como por ejemplo de torta y de barras. NVD3 cumple con resolver esta problemática, ya que permite crear distintos tipos de gráficos de manera sencilla, ya que solamente hay que preocuparse de dar el formato respectivo a los datos que se quiere representar. Además NVD3 y D3 permiten realizar otros tipos de gráficos que pueden llegar a ser útiles posteriormente para representar otros datos que se obtengan de los expertos.

### **3.2.1.4 Bootstrap**

Bootstrap fue creado a mediados del 2010 por un diseñador y un desarrollador de la red social Twitter, es un proyecto de código abierto, y es uno de los frameworks de front-end más populares en el mundo. Sirvió como guía de estilo para el desarrollo de herramientas internas en la empresa durante más de un año antes de su lanzamiento público, y continua haciéndolo hoy en día [Boo].

Bootstrap fue lanzado el viernes 19 de agosto del 2011, y desde ese momento ha tenido más de veinte actualizaciones, con grandes cambios como las versiones v2 y v3.

El uso de Bootstrap facilita enormemente la creación de la interfaz gráfica, ya que permite desarrollar de manera fácil y rápida interfaces amigables y agradables para el usuario. Cuenta con gran número de componentes, que combinados con una amplia documentación y ejemplos, permiten que sea utilizado por usuarios de diferentes niveles.

### **3.2.2 Capa de negocio**

Esta capa de la arquitectura se denomina capa de negocio ya que es donde se establecen las reglas que deben cumplirse. Esta capa se comunica con la capa de presentación, para recibir solicitudes y presentar los resultados, y con la capa de datos, para solicitar al gestor de base de datos almacenar o recuperar datos de él. Además en esta capa residen los programas de la aplicación, y que se ejecutan a nivel de servidor.

#### **3.2.2.1 CentOS**

El sistema operativo que será utilizado en el servidor corresponde a la distribución Linux CentOS, en su versión 6.5, la cual es una plataforma estable, predecible, manejable y reproducible derivada de las fuentes de Red Hat Enterprise Linux(RHEL)<sup>15</sup>. Desde marzo del 2004, CentOS Linux ha sido una distribución apoyada por la comunidad, y distribuida gratuitamente al público por Red Hat, por lo que CentOS Linux es gratuito y libre de redistribuir [Cen].

CentOS Linux posee una comunidad que va en aumento, compuesta por desarrolladores, usuarios activos, administradores de sistemas, administradores de redes, los cuales contribuyen a que la distribución mejore constantemente.

#### **3.2.2.2 Servidor Web Apache [AHS]**

El servidor web escogido para poner en marcha la plataforma, corresponde al Servidor web Apache, que es desarrollado y mantenido por el proyecto Apache ATTP Server. Este corresponde a un servidor HTTP de código abierto para sistemas operativos modernos, incluyendo UNIX y Windows NT. El servidor Web Apache es un servidor seguro, eficiente y extensible que proporciona servicios de HTTP en sincronización con estándares HTTP actuales.

Apache ha sido el servidor web más popular en Internet desde abril de 1996, y cuenta con una amplia documentación, razones que influyeron en su elección.

---

<sup>15</sup> Ver en <http://www.redhat.com/es/technologies/linux-platforms/enterprise-linux>

### **3.2.2.3 Python**

Como lenguaje de programación para el servidor de la plataforma, se utilizará Python, que es un lenguaje orientado a objetos, interpretado y de código abierto, por lo que es de libre uso y distribuible, incluso para uso comercial.

El índice de paquetes de Python acoge miles de módulos de terceros para Python. Tanto la biblioteca estándar de Python y los módulos aportados por la comunidad permiten un sinfín de posibilidades. Entre las aplicaciones de Python se encuentra el desarrollo Web y de Internet, Computación científica y numérica, Desarrollo de software y su uso con fines educativos, entre otras [Pyta].

Este lenguaje es soportado por el servidor web Apache y además puede interactuar con SCIP, que corresponde al optimizador seleccionado para resolver la problemática de encontrar el vector de preferencias para un caso determinado, lo cual permite un correcto desempeño al momento de implementar las tecnologías de manera conjunta.

Como se mencionó al inicio de esta sección, se adoptó como arquitectura la programación por capas o arquitectura de tres niveles, este enfoque, es en sí mismo un patrón de diseño, y es totalmente compatible con Python. En el desarrollo de este proyecto se ha combinado el uso de Python con el uso del microframework llamado Flask, el cual ha sido específicamente diseñado para el desarrollo Web mediante Python como lenguaje de programación, y que en conjunto con éste, ofrece todas las funcionalidades necesarias para llevar a cabo las tareas propias del patrón de diseño, como proporcionar interfaces que permitan la comunicación con la capa de negocio y la capa de datos, y una estructura que permita separar y organizar las distintas capas de la arquitectura. De esta manera, se puede generar un software con código reutilizable y entendible, lo que se traduce en un producto software de buena calidad.

### **3.2.2.4 SCIP**

SCIP es actualmente uno de los optimizadores no comerciales más rápidos para la programación entera mixta MIP<sup>16</sup> y programación entera no lineal MINLP<sup>17</sup>. SCIP es un framework para la programación entera en base a restricciones orientado hacia las necesidades del experto en programación matemática, quien desea tener control total del

---

<sup>16</sup> MIP: Mixed integer programming

<sup>17</sup> MINLP: Mixed integer nonlinear programming

proceso de solución y tener acceso a la información detallada del solucionador. SCIP también se puede utilizar como un solucionador de MIP puro, o como un framework para branch-cut-and-price<sup>18</sup> [Sci].

SCIP se implementa como biblioteca C y proporciona clases C++ contenedoras para los plugins de usuario.

Esta herramienta fue fundamental para poder implementar el modelo matemático de cuantificación de preferencias visto en la sección 2.2, ya que SCIP permitió utilizar el método basado en distancias con las distintas métricas lp. En vista de que SCIP es una biblioteca hecha en C, fue necesario encontrar una manera en que Python se pueda comunicar con ésta, ya que Python es quien recibe las solicitudes por parte de la capa de presentación, y la información por parte de la capa de datos. La solución a esta problemática se encontró en Python-Zibopt, que corresponde a un módulo de Python que actúa como interfaz de comunicación entre Python y SCIP, permitiendo que Python pueda implementar los distintos modelos utilizando la información que recibe de las otras capas, y entregárselos a SCIP para que este los resuelva, para luego obtener las respectivas soluciones.

### 3.2.2.5 Numpy

Numpy es el paquete fundamental para la computación científica usando Python. Contiene entre otras cosas; un poderoso objeto de matriz N-dimensional, sofisticadas funciones, herramientas para la integración de C/C++ y el código Fortran, herramientas para álgebra lineal, transformada de Fourier, y capacidades para números aleatorios [Num].

Además de sus obvios usos científicos, Numpy también puede ser usado como un contenedor multidimensional eficiente de datos genéricos. Pueden ser definidos tipos de datos arbitrarios. Esto permite integrar Numpy sin problemas y de manera rápida con una amplia variedad de bases de datos.

Numpy está bajo la licencia BSD<sup>19</sup>, lo que permite su reutilización con pocas restricciones.

---

<sup>18</sup> Método de optimización combinatoria para resolver programación lineal (ILP) entera y programación lineal entera mixta (MILP).

<sup>19</sup> BSD: Berkeley Software Distribution

Este módulo se utilizó principalmente para poder crear objetos de matriz N-dimensional, ya que Python en sí mismo no permite crear matrices de longitud definida, lo cual en este proyecto era necesario para almacenar las matrices de comparación por pares provenientes de la capa de presentación y creadas a partir de los juicios emitidos por los expertos o alumnos.

### 3.2.2.6 Python-Zibopt

Esta es una biblioteca para generar y resolver problemas de programación entera mixta en Python 2.7 o 3.2 usando SCIP y SoPlex<sup>20</sup> de la ZIB Optimization Suite<sup>21</sup>. Su objetivo es proporcionar una integración perfecta entre los dos entornos, permitiendo al programador resolver fácilmente MIQPs<sup>22</sup> usando las cómodas instalaciones de Python para el acceso y manipulación de datos, entre otras cosas [Pytb].

Python-Zibopt es liberado bajo licencia GPL<sup>23</sup>. Los componentes de ZIB Optimization Suite, son distribuidos por ZIB bajo licencia académica ZIB<sup>24</sup>.

Como se mencionó en la sección 3.2.2.4, Python-Zibopt se utilizó como una interfaz de comunicación entre Python y SCIP. Por medio de Python-Zibopt se pueden implementar problemas de optimización de manera expedita y sencilla, ya que cuenta con una sintaxis de fácil aprendizaje y bastante intuitiva, que está respaldada por una amplia documentación y con algunos ejemplos.

### 3.2.3 Capa de datos

Esta capa de la arquitectura se denomina capa de datos, ya que es aquí donde residen los datos y es la encargada de acceder a los mismos. Está compuesta por uno o más gestores de base de datos que realizan todo el almacenamiento de datos, reciben solicitudes de almacenamiento o recuperación de información desde la capa de negocio. En el caso de esta plataforma, el gestor de base de datos que ha sido seleccionado corresponde a MySQL.

---

<sup>20</sup> Ver en <http://soplex.zib.de/>

<sup>21</sup> Ver <http://www.zib.de/berthold/ZIBOpt/>

<sup>22</sup> MIQP: Mixed-Integer Quadratic Programming

<sup>23</sup> GPL: General Public License

<sup>24</sup> Ver en <http://www.zib.de/berthold/ZIBOpt/ZIBLicence.html>

### **3.2.3.1 Mysql**

MySQL es el software de base de datos de código abierto más popular del mundo, con más de 100 millones de copias de su software descargadas o distribuidas a lo largo de su historia. Con su velocidad superior, confiabilidad y facilidad de uso, MySQL se ha convertido en la opción preferida para el desarrollo Web, ya que elimina los principales problemas asociados con el tiempo de inactividad (downtime en inglés), mantenimiento y administración para aplicaciones modernas y en línea [Mysa].

Muchas de las organizaciones de más rápido crecimiento y más grandes del mundo utilizan MySQL para ahorrar tiempo y dinero alimentando sus sitios de alto volumen, sistemas críticos de negocio y paquetes de software, incluyendo líderes en la industria como Yahoo!, Google, Youtube y Wikipedia entre otros.

MySQL es una parte clave de LAMP<sup>25</sup>, que corresponde a la pila de software empresarial de código abierto de rápido crecimiento.

Desde el punto de vista técnico, MySQL es un sistema de gestión de base de datos relacional, multihilo y multiusuario, que puede ser accedida desde varios lenguajes de programación. El formar parte de LAMP, hace que su uso para aplicaciones web en combinación con Python sea casi natural. Es por esto que se ha escogió como sistema de gestión de base de datos para el desarrollo de este proyecto.

Para un manejo adecuado de la base de datos se utilizará MySQL Workbench, que corresponde a una herramienta visual unificada para los arquitectos de bases de datos, desarrolladores y administradores de bases de datos, que proporciona el modelado de datos, desarrollo de SQL y herramientas completas de administración para la configuración del servidor, la administración de usuarios, copias de seguridad, entre otras cosas. Mediante esta herramienta se busca mantener la consistencia, fiabilidad y disponibilidad de los datos obtenidos a partir de los expertos [Mysb].

### **3.2.4 Patrón de diseño**

Los patrones de diseño son el esqueleto de las soluciones a problemas comunes. En otras palabras brindan una solución ya probada y documentada a problemas de desarrollo de software que están sujetos a contextos similares [Ted].

---

<sup>25</sup> LAMP: Linux, Apache, MySQL, PHP/Perl/Python

Como se mencionó en la sección 3.1, para este proyecto se optó por utilizar la programación por capas o arquitectura de tres niveles que al mismo tiempo también corresponde al patrón de diseño por capas, muy popular en el desarrollo web, que plantea separar la aplicación en una capa de presentación, una de negocio y una de datos.

Se optó por la programación por capas sobre otros patrones de diseño populares como MVC<sup>26</sup> para poder trabajar directamente sobre la capa de datos utilizando el gestor de datos MySQL, y de esa manera mantener la independencia de esta capa. Además, con el patrón seleccionado se pudo sacar el máximo provecho a MySQL Workbench, ya que cuenta con una potente herramienta para realizar el proceso de modelado, y que permite la generación automática de código a partir del modelo creado, para la creación de la base de datos.

La implementación de este patrón de diseño se realizó por medio del Flask, que es un micro framework para el desarrollo Web para Python. Flask depende de dos librerías externas, el motor de plantilla Jinja2<sup>27</sup> y el kit de herramientas WSGI Werkzeug<sup>28</sup>. El término “micro” en micro framework significa que Flask mantiene el núcleo simple pero extensible. Éste no posee una capa de abstracción para la base de datos, validación de formularios, o cualquier otro componente donde preexistan otras librerías que entreguen funcionalidades comunes. Sin embargo, Flask soporta extensiones, que pueden añadir funciones a la aplicación como si se llevaran a cabo en sí mismas por Flask [Fla].

---

<sup>26</sup> MVC:Modelo-vista-controlador

<sup>27</sup> Ver en <http://jinja.pocoo.org/>

<sup>28</sup> Ver en <http://werkzeug.pocoo.org/>

## **4 DESARROLLO DEL SISTEMA**

En este capítulo se presenta el proceso de desarrollo de la plataforma, con sus principales componentes y características correspondientes.

### **4.1 Planificación**

#### **4.1.1 Metodología**

Para utilizar una metodología en el desarrollo de un producto software, es importante analizar las características del proyecto, los requisitos que tiene éste, qué tan cambiantes son esos requisitos, la relación que existe con los stakeholders, y los plazos en los cuales se ve inmerso el proyecto entre otras cosas. Escoger la metodología apropiada para el proyecto, que se encuentre alineada a las características de éste, permite planificar las etapas del proyecto, y posteriormente administrarlas. También permite identificar de mejor manera las dificultades del proyecto, y saber en qué etapas se encuentran estas dificultades, facilitando la implementación del software.

El ciclo de vida utilizado para el desarrollo de este proyecto es el de Entrega incremental. En un proceso de desarrollo incremental, los clientes identifican, a grandes rasgos, los servicios que proporcionará el sistema, se identifican cuáles son los servicios más y menos importantes, entonces, se definen varios incrementos en donde cada uno proporciona un subconjunto de la funcionalidad del sistema. La asignación de servicios a los incrementos depende de la prioridad del servicio, con los servicios de prioridad más alta entregados primero.

Una vez que los incrementos del sistema se han identificado, los requerimientos para los servicios que se van a entregar en el primer incremento se definen en detalle, y éste se desarrolla. Durante el desarrollo, se puede llevar a cabo un análisis adicional de requerimientos para los requerimientos posteriores, pero no se aceptan cambios en los requerimientos para el incremento actual. Una vez que un incremento se completa y entrega, los clientes pueden ponerlo en servicio. Esto significa que tienen una entrega temprana de parte de la funcionalidad del sistema. Pueden experimentar con el sistema, lo cual les ayuda a clarificar sus requerimientos para los incrementos posteriores y para las últimas versiones del incremento actual. Tan pronto como se completan los nuevos incrementos, se integran en los existentes de tal forma que la funcionalidad del sistema mejora con cada incremento entregado [Som05].

Se escogió esta metodología debido a que en un principio existía solo una idea general de lo que debía hacer la plataforma, por lo que no se tenía una lista de requisitos detallada, sino solo un grupo de requisitos iniciales relacionados principalmente con el modelo de cuantificación de preferencias, y algunas ideas con respecto a qué es lo que debería hacer la plataforma. Por este motivo se optó por el desarrollo incremental, el cual permitió tomar ese grupo de requisitos iniciales y convertirlo en el primer incremento, el cual una vez finalizado, pudo ser analizado y probado por el equipo de investigación, lo cual permitió esclarecer aún más las funciones de la plataforma, y obtener una lista de requisitos mucho más detallados para las funcionalidades restantes. De esta manera, la relación entre el desarrollador y el grupo de investigación es mucho más estrecha, lo que permite que el producto software entregado se ajuste mucho más a los requisitos de los interesados. Adicionalmente, en cada incremento se realizaron algunas iteraciones para ir depurando algunos aspectos de dicho incremento. Los cambios realizados en las iteraciones generalmente correspondían a modificaciones en la interfaz.

#### **4.1.2 Plan de trabajo**

En la Figura 31 se presenta el plan de trabajo para llevar a cabo la implementación del proyecto, siguiendo las etapas de desarrollo de la ingeniería de software de acuerdo al modelo de entrega incremental.

Se observan tres incrementos de desarrollo, en los cuales se realizan todas las etapas de la ingeniería de software. Es importante destacar que antes de definir los incrementos, se esbozaron los requisitos, y se asignaron a cada incremento, y además se definió la arquitectura de la plataforma. Posteriormente, luego de cada incremento se revisaron de manera más detallada los nuevos requisitos para el próximo incremento, y una vez terminado éste, se integró a las funcionalidades existentes.

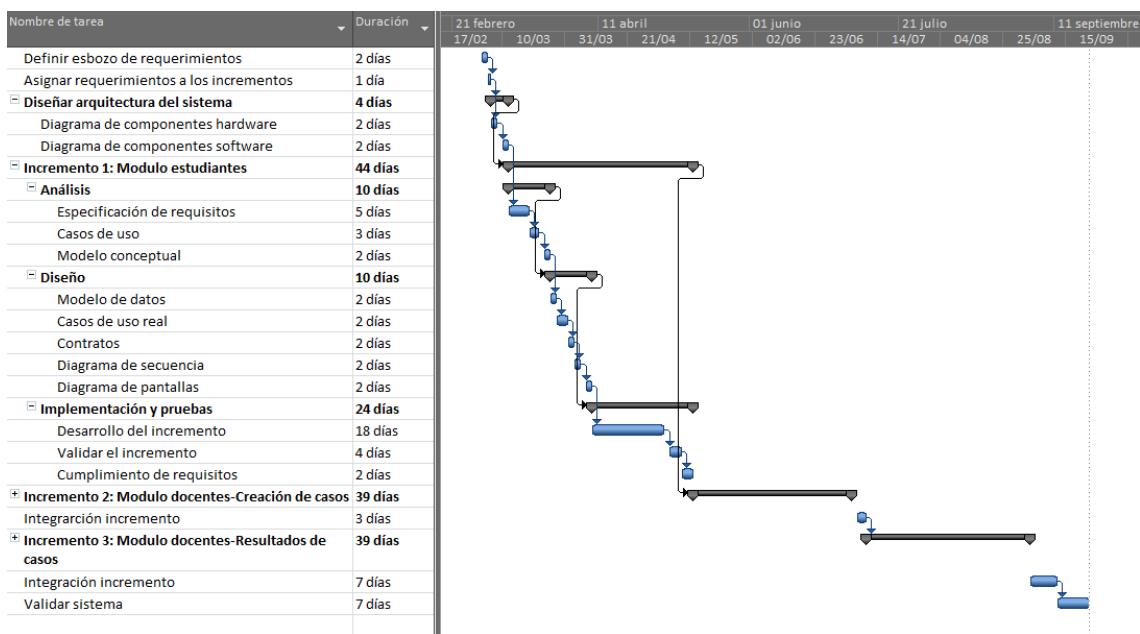


Figura 31: Carta Gantt con el Plan de Trabajo para las etapas de la ingeniería de Software<sup>29</sup>

El primer incremento, corresponde al módulo de los alumnos, el cual tiene como función principal mostrar las alternativas de un determinado caso a los alumnos, y capturar sus preferencias, para que éstas sean almacenadas. Este incremento tiene una larga duración, debido a varios motivos, fue necesario crear una interfaz que permita que los alumnos emitan sus preferencias utilizando la escala de Saaty, pero sin usarla de manera explícita, es decir, la interfaz debía transformar los valores obtenidos a partir del usuario o experto a la escala de Saaty, ya que se busca que los usuarios no requieran conocimiento alguno de cómo funciona un modelo de decisión. Además fue necesario diseñar todas las estructuras que permitan almacenar la información en un formato acorde a los modelos de decisión, es decir, que permitan que la información pueda ser almacenada de una manera en que los modelos de decisión puedan acceder a ésta de forma ordenada. Y en última instancia, en este módulo se llevó a cabo el aprendizaje de las tecnologías a utilizar, sumado a pruebas con la herramienta SCIP que permitió la implementación de los modelos matemáticos.

El segundo incremento, si bien tuvo una menor duración que el primero, tuvo las dificultades propias del desarrollo funcional de los requerimientos. Éste corresponde a la implementación de la primera parte del módulo de administración de la plataforma, el cual se encarga de permitir la creación de casos, asignación de estudiantes o expertos a esos casos, y la notificación a los estudiantes al momento de ser asignados a un caso.

<sup>29</sup> Elaboración propia

El tercer incremento, fue bastante similar al segundo, y corresponde a la implementación de la segunda parte del módulo de administración de la plataforma. Este se encarga del despliegue gráfico de los resultados de un caso, y de su administración, una vez que ha sido creado, es decir, notificar a los estudiantes que no han respondido, asignar permisos a los analistas, monitorear el nivel de progreso, etc.

Durante el proceso de desarrollo del producto software es importante tener en cuenta lo siguiente:

- Realizar reuniones periódicas con el equipo de investigación, que permitan mantener una comunicación continua, con el objetivo de monitorear el desarrollo de cada incremento del software, y asegurarse de que éste se mantenga alineado con los requisitos, y por ende a la visión que tiene el equipo del producto final.
- Analizar en conjunto con el equipo de investigación la toma de decisiones frente a problemas que pueden surgir durante el desarrollo del producto software.
- El producto software se dará por finalizado cuando se completen los tres incrementos, se integren, y se valide el sistema como un todo. La validación del software estará dada por la revisión de las funcionalidades desarrolladas y la posterior puesta en marcha para la realización de un caso de prueba.

#### **4.1.3 Validación**

Para la validación del producto software es necesario tener en cuenta lo siguiente:

- Las funcionalidades del software serán comprobadas en su totalidad, para verificar que los requerimientos establecidos hayan sido completados.
- Se validará la fiabilidad del modelo matemático implementado en el sistema realizando comparaciones entre los resultados obtenidos a partir del sistema con los obtenidos por medio del software LINDO<sup>30</sup>.
- Se probará mediante un caso de prueba la capacidad de la plataforma para crear casos, asignar estudiantes a estos casos, permitir que éstos puedan responderlos, y que ésta muestre de manera gráfica los resultados de un caso a partir de las preferencias de los estudiantes.

---

<sup>30</sup> Ver en <http://www.lindo.com/>

## 4.2 Análisis

En esta sección se describen los requerimientos y casos de uso más representativos de cada módulo, los cuales fueron obtenidos y discutidos mediante varias reuniones con el grupo de investigación, con el objetivo de identificar los requisitos funcionales y no funcionales que deberían satisfacer el producto software final.

### 4.2.1 Requerimientos

A continuación se presenta una lista de los requisitos que se definieron para el producto software.

#### 4.2.1.1 Requisitos funcionales

Los requisitos funcionales del sistema se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3: Requisitos funcionales

REQF-001	Autenticación de usuarios
Descripción	El sistema debe ser capaz de diferenciar distintos tipos de usuarios, mediante el RUT, tipo de usuario y contraseña. Estos pueden ser de tres tipos, Administrador, Creador, y Analista.
REQF-002	Gestión de perfil
Descripción	El sistema debe permitir que los usuarios puedan modificar su contraseña. Además el sistema debe permitir que el Administrador pueda modificar los datos que el usuario entregó al momento de registrarse.
REQF-003	Recuperar contraseña
Descripción	El sistema debe permitir que los usuarios recuperen su contraseña mediante su correo electrónico en caso de que se les olvide.
REQF-004	Desplegar Encuesta
Descripción	El sistema debe desplegar la pregunta y los distintos pares de alternativas para un caso determinado.
REQF-005	Panel de navegación
Descripción	El sistema debe proporcionar un panel de navegación que muestre el nivel de progreso de una encuesta, y que además permita la navegación del experto entre los distintos pares de alternativas.
REQF-006	Asesorar experto
Descripción	El sistema debe proporcionar ayuda a los usuarios que responden una encuesta, explicándoles la forma en que deben responder la encuesta.
REQF-007	Almacenar preferencias
Descripción	El sistema debe almacenar las preferencias de un experto cuando éste termina de responder la encuesta.
REQF-008	Desplegar casos
Descripción	El sistema debe mostrar los casos disponibles para el administrador, creadores, analistas y alumnos. En el caso del administrador, creador y analistas para ver los resultados y el progreso de los casos, y en el caso de los alumnos para que éstos respondan.

<b>REQF-009</b>	<b>Gestión de usuarios</b>
<b>Descripción</b>	El sistema debe permitir que el administrador maneje los privilegios de los demás usuarios (Creador/Analista), y en caso de ser creador, el tipo de casos que éste puede crear (Manual/Automático). Además el administrador debe poder eliminar usuarios.
<b>REQF-010</b>	<b>Registro de usuarios</b>
<b>Descripción</b>	El sistema deberá permitir el registro de nuevos usuarios, los cuales deben ser creados por el Administrador del sistema. Los datos a solicitar son: nombre, apellido, correo electrónico, RUT y rol. La contraseña se debe generar de manera automática.
<b>REQF-011</b>	<b>Gestión de un caso</b>
<b>Descripción</b>	El sistema debe permitir al Administrador y Creador crear casos indicando el nombre, descripción, pregunta, alternativas, además de permitir la asignación de analistas y alumnos al caso. Esto para que los alumnos emitan sus preferencias con respecto a las alternativas del caso, y los analistas para que puedan ver los resultados del caso. La forma de crear un caso puede ser automática o manual, si es automática se refiere a que las alternativas corresponden a instancias de asignaturas, por lo que si se agrega una instancia de asignatura implícitamente se agregan los alumnos que cursan dicha instancia. Si es manual, los alumnos y alternativas se ingresan de manera separada.
<b>REQF-012</b>	<b>Calcular preferencias</b>
<b>Descripción</b>	El sistema debe calcular las preferencias globales de un caso a partir de las preferencias emitidas de forma individual por cada experto asignado al caso, utilizando el método de cuantificación de preferencias.
<b>REQF-013</b>	<b>Desplegar ranking de preferencias</b>
<b>Descripción</b>	El sistema debe mostrar gráficos que muestren las preferencias globales de un caso, en base a las preferencias individuales de cada experto que ha respondido.
<b>REQF-014</b>	<b>Comparar resultados</b>
<b>Descripción</b>	En un caso de tipo automático, el sistema debe comparar las preferencias globales obtenidas, equivalentes a la estimación de la distribución de tiempo de los estudiantes con respecto a un grupo de asignaturas, con la distribución propuesta por medio de los programas de dichas asignaturas.
<b>REQF-015</b>	<b>Filtrar juicios</b>
<b>Descripción</b>	El sistema debe filtrar los juicios emitidos por los expertos al momento de calcular las preferencias globales, esto mediante el grado de inconsistencia que tenga cada juicio, o en el caso de que la matriz que almacena el juicio del experto esté completa o incompleta.
<b>REQF-016</b>	<b>Crear grupos</b>
<b>Descripción</b>	En un caso automático, el sistema debe ser capaz de crear grupos de expertos, los cuales se deben formar a partir de las asignaturas consideradas en el caso, y los estudiantes que forman parte del caso. Cada grupo se compone de estudiantes que cursan al menos n-1 asignaturas, y que además cursan el mismo grupo de asignaturas.
<b>REQF-017</b>	<b>Mostrar metadata</b>
<b>Descripción</b>	El sistema debe acompañar cada gráfico con su respectiva metadata, la cual incluye toda la información del caso y sus participantes, y también la información del modelo matemático utilizado.
<b>REQF-018</b>	<b>Mostrar detalle de respuestas</b>
<b>Descripción</b>	El sistema debe mostrar el detalle de las personas que han respondido un caso y los que no.
<b>REQF-019</b>	<b>Mostrar porcentaje de progreso</b>
<b>Descripción</b>	El sistema debe mostrar el porcentaje de personas que han respondido un caso.
<b>REQF-020</b>	<b>Comparar métricas</b>
<b>Descripción</b>	El sistema debe comparar gráficamente las preferencias globales de un caso, en base a las diferentes métricas lp.

<b>REQF-021</b>	<b>Notificar usuarios</b>
<b>Descripción</b>	El sistema debe notificar a los analistas y alumnos cuando son asignados a un caso.

#### 4.2.1.2 Requisitos no funcionales

Los requisitos no funcionales se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4: Requisitos no funcionales

<b>REQNF-001</b>	<b>Ambiente Web</b>
<b>Descripción</b>	El sistema debe ser capaz de ser ejecutado en un entorno web mediante los navegadores Google Chrome y Firefox.
<b>REQNF-002</b>	<b>Escalabilidad</b>
<b>Descripción</b>	El sistema debe ser desarrollado de manera escalable. El modelo de datos de la plataforma, la arquitectura, y el código fuente, deben ser realizados contemplando futuros desarrollos o mejoras a la plataforma.
<b>REQNF-003</b>	<b>Mecanismo de solución</b>
<b>Descripción</b>	El método para obtener las preferencias por parte de los alumnos debe ser el de comparaciones relativas, y el método de solución debe ser el método basado en distancias, implementado mediante programación lineal y usando las métricas lp.
<b>REQNF-004</b>	<b>Usabilidad</b>
<b>Descripción</b>	El sistema debe capturar las preferencias de los expertos mediante una interfaz sencilla e intuitiva que implemente la escala de Saaty.
<b>REQNF-004</b>	<b>Mecanismo de ingreso</b>
<b>Descripción</b>	El sistema debe permitir el ingreso de los alumnos a un caso mediante archivos CSV provenientes del sistema administrativo de la UACh. Debe permitir la asignación de expertos a un caso mediante archivos CSV.

#### 4.2.2 Modelo conceptual

Para facilitar la compresión de la problemática que se desea solucionar mediante el producto software, en la Figura 32 se presenta un modelo conceptual, que muestra el dominio dentro del cual se encuentra inmerso el proyecto.

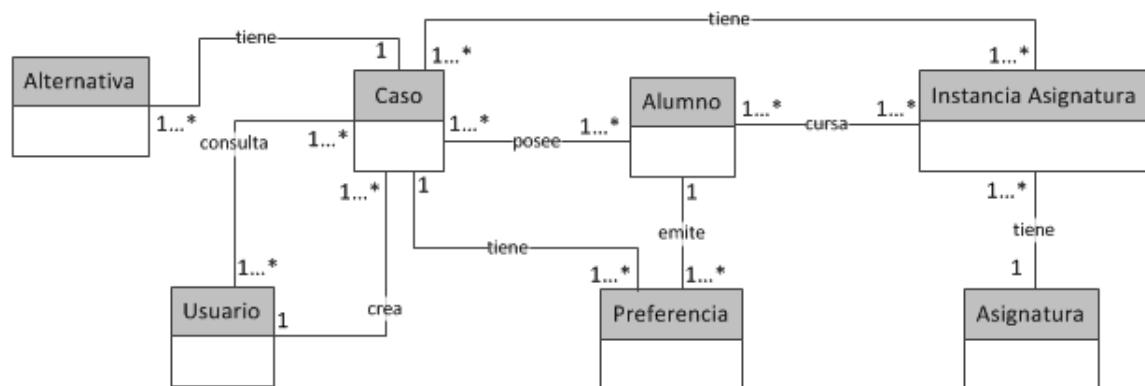


Figura 32: Modelo conceptual de la plataforma software<sup>31</sup>

<sup>31</sup> Elaboración propia utilizando Microsoft Office Visio.

### 4.2.3 Casos de uso

En las Figuras 33, 34, 35 y 36 se presentan los diferentes casos de uso para los actores involucrados en el sistema:

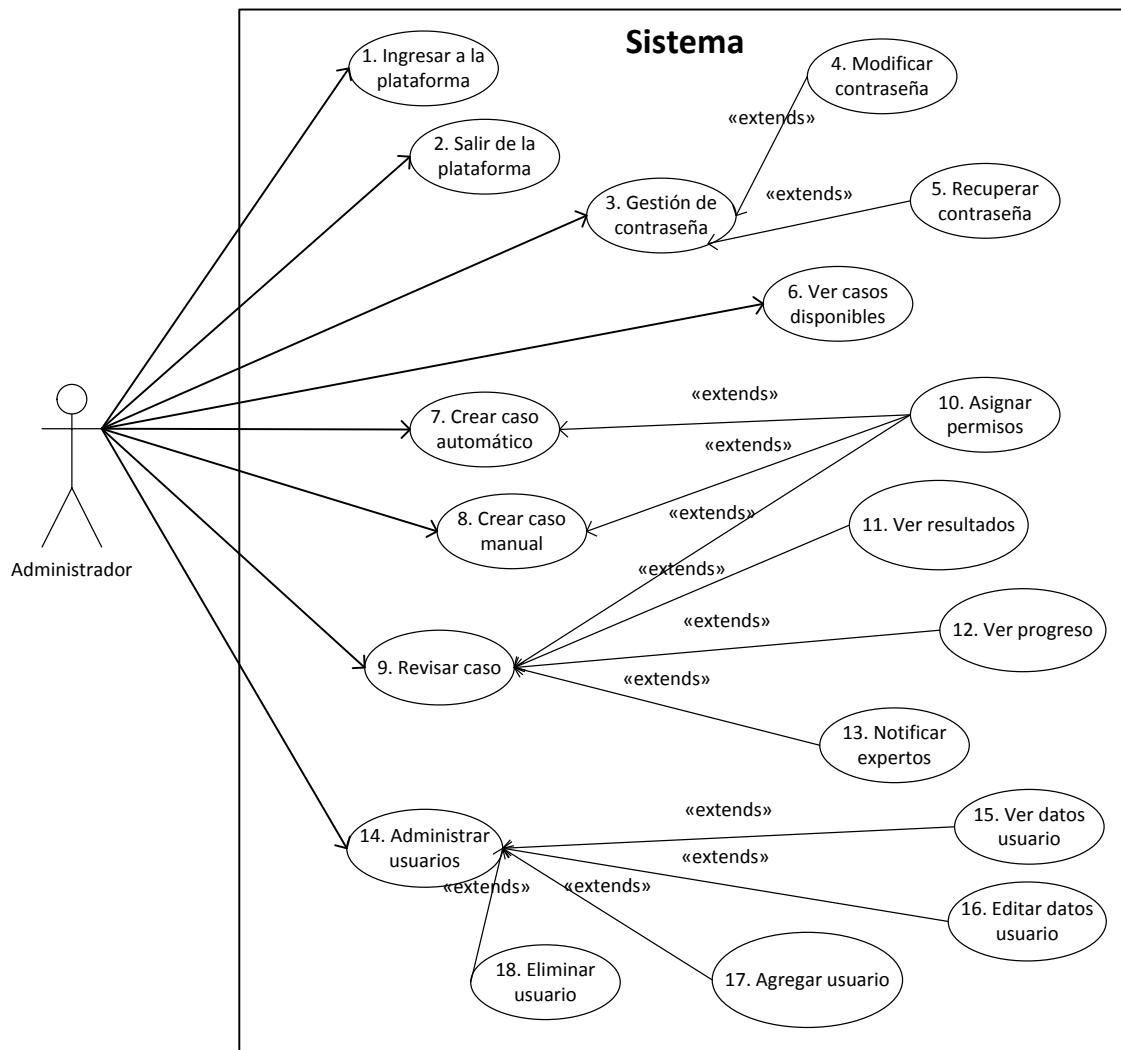


Figura 33: Diagrama de Casos de Uso para Administrador-Modulo Administración<sup>32</sup>

<sup>32</sup> Elaboración propia utilizando Microsoft Office Visio

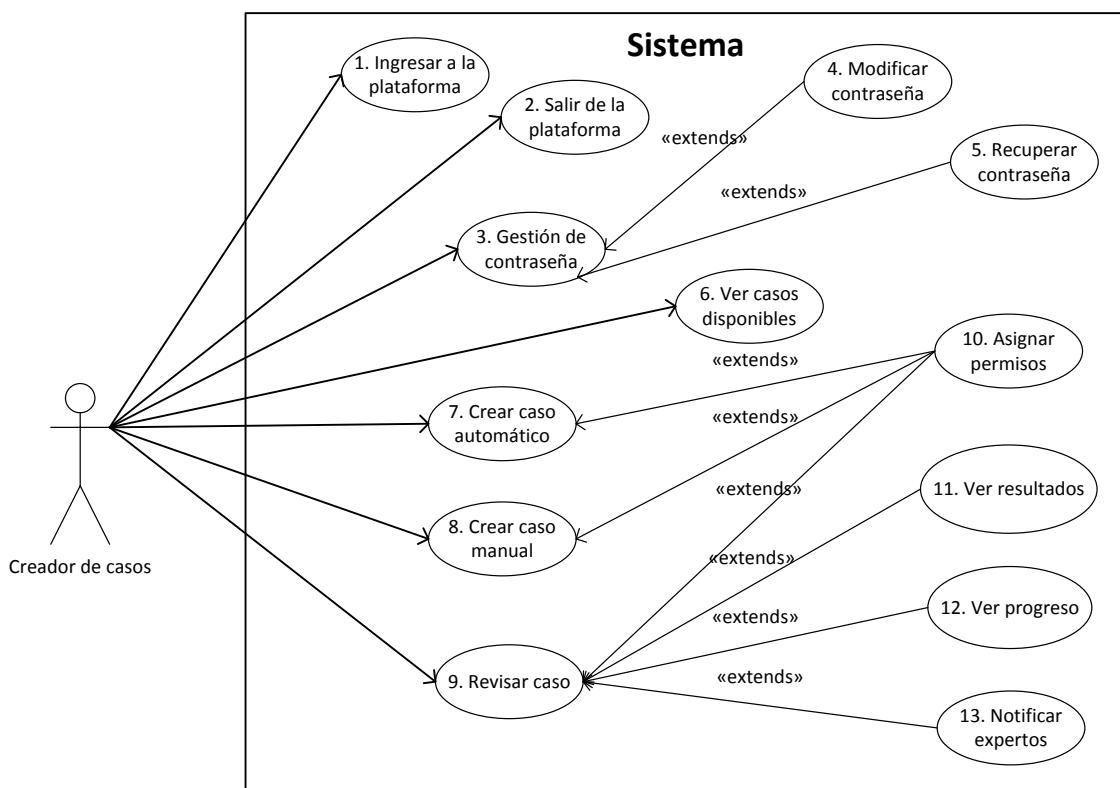


Figura 34: Diagrama de Casos de Uso para Creador de casos-Modulo Administración<sup>33</sup>

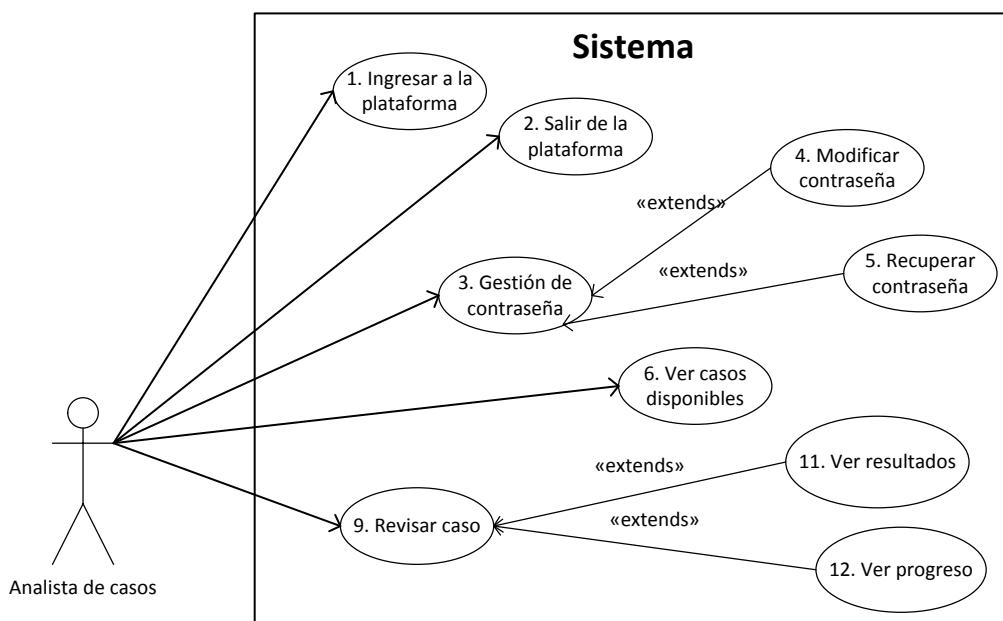


Figura 35: Diagrama de Casos de Uso para Analista de casos-Modulo Administración<sup>34</sup>

<sup>33</sup> Elaboración propia utilizando Microsoft Office Visio

<sup>34</sup> Elaboración propia utilizando Microsoft Office Visio

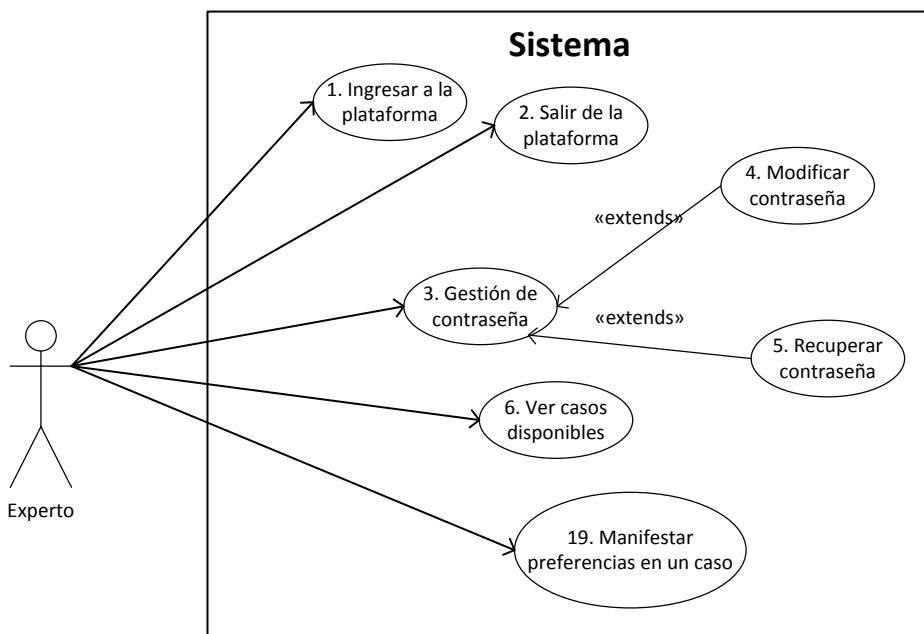


Figura 36: Diagrama de Casos de Uso para Alumno-Modulo Alumnos<sup>35</sup>

#### 4.2.3.1 Descripción de los actores del sistema

**Experto:** Corresponde al grupo de individuos que será responsable de emitir sus preferencias en los respectivos casos, las cuales serán almacenadas para posteriormente ser utilizadas en diferentes cálculos.

**Creador de casos:** Corresponde al grupo de individuos que puede crear casos, y posteriormente ver los resultados de éstos. Además pueden revisar otros casos creados por otros usuarios en los que ha sido asignado.

**Analista de casos:** Corresponde al grupo de individuos que puede revisar los resultados de casos en los que ha sido asignado.

**Administrador:** Corresponde al individuo o grupo de individuos que tiene todas las funciones de un creador de casos, pero que además es el encargado de administrar la totalidad de usuarios de la plataforma, lo cual incluye el registro, edición y eliminación de usuarios.

#### 4.2.3.2 Matriz de trazabilidad

Una matriz de trazabilidad, es una herramienta que ayuda a realizar un seguimiento a los requisitos a lo largo del ciclo de vida del proyecto, para asegurar que se están cumpliendo de manera eficaz. El seguimiento a los requisitos se hace asociándolos a los

<sup>35</sup> Elaboración propia utilizando el software Microsoft Office Visio

diferentes casos de uso que se han identificado en el sistema, lo cual permite identificar de donde proviene un requisito, verificar su cumplimiento y además analizar el impacto que podrían tener en el sistema cambios propuestos al alcance del proyecto o al producto software.

Para efectos de la matriz, los casos de uso serán referencias con la sigla CU más el número de cada uno, éstos de acuerdo a los diagramas presentados en la sección 4.2.3. A continuación en las Tablas 5 y 6, se presentan las matrices de trazabilidad para el módulo alumnos y el módulo de administración.

Tabla 5: Matriz de trazabilidad para el modulo alumnos.

Casos de uso/ Requisitos	CU-001	CU-002	CU-003	CU-004	CU-005	CU-006	CU-019
REQF-001	X	X					
REQF-002			X	X			
REQF-003			X		X		
REQF-004							X
REQF-005							X
REQF-006							X
REQF-007							X
REQF-008							X

Tabla 6: Matriz de trazabilidad para el módulo de administración

Casos de uso/ Requisitos	CU-001	CU-002	CU-003	CU-004	CU-005	CU-006	CU-007	CU-008	CU-009	CU-010	CU-011	CU-012	CU-013	CU-014	CU-015	CU-016	CU-017	CU-018
REQF-001	X	X																
REQF-002			X	X														
REQF-003			X		X													
REQF-008						X												
REQF-009														X	X	X		X
REQF-010															X			X
REQF-011							X	X		X								
REQF-012									X		X							

Casos de uso/ Requisitos	CU-001	CU-002	CU-003	CU-004	CU-005	CU-006	CU-007	CU-008	CU-009	CU-010	CU-011	CU-012	CU-013	CU-014	CU-015	CU-016	CU-017	CU-018
REQF-013									X		X							
REQF-014									X		X							
REQF-015									X		X							
REQF-016									X		X							
REQF-017									X		X							
REQF-018									X			X						
REQF-019									X			X						
REQF-020									X		X							
REQF-021									X				X					

## 4.3 Diseño e implementación

En esta sección se describe el diseño y la implementación para los módulos de alumno y administración de la plataforma. En un principio se muestran algunos artefactos generales correspondientes al diagrama de componentes y al modelo de datos. Posteriormente para cada módulo se presentaran los casos de uso más importantes, además del diagrama de secuencia correspondiente, y un diagrama de pantallas para ver la interacción del caso de uso con el resto del sistema.

### 4.3.1 Diagrama de componentes

En las Figuras 37 y 38 se muestran los diagramas de componentes software y hardware respectivamente. Ambos diagramas son congruentes con lo visto en el capítulo 3, correspondiente al patrón de diseño de programación por capas.

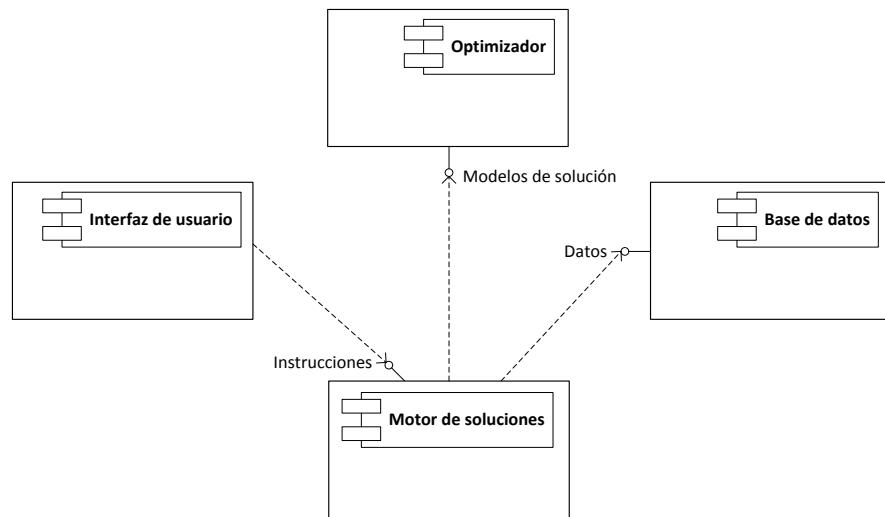


Figura 37: Diagrama de componentes software del sistema<sup>36</sup>

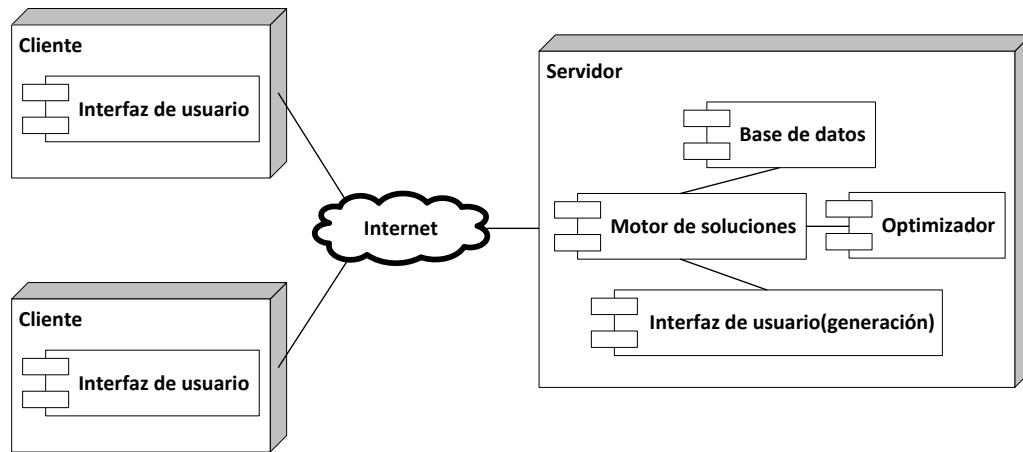


Figura 38: Diagrama de componentes hardware del sistema<sup>37</sup>

#### 4.3.2 Modelo de datos

El diseño de la base de datos del sistema contempló once entidades representadas por tablas. Se definieron las relaciones entre los atributos o campos de cada una. El modelo de datos completo, generado mediante la herramienta MySQL Workbench se puede ver en la Figura 39.

<sup>36</sup> Elaboración propia utilizando el software Microsoft Office Visio

<sup>37</sup> Elaboración propia utilizando el software Microsoft Office Visio

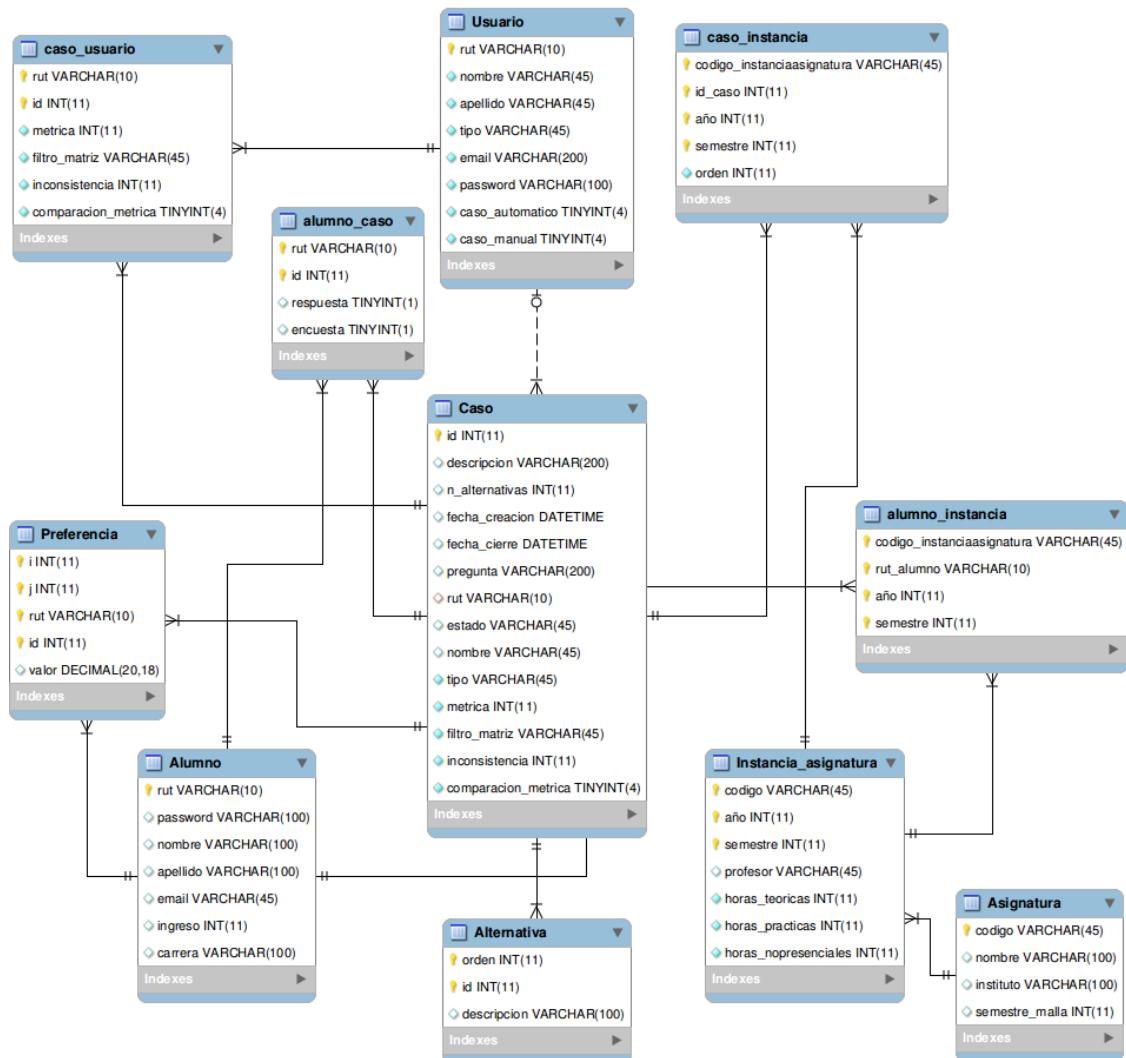


Figura 39: Modelo de datos del producto software

#### 4.3.3 Módulo alumno

El módulo alumnos es aquel que permite que los alumnos manifiesten sus preferencias en los casos creados por el administrador y los creadores de casos. Esto permite almacenar las preferencias de cada alumno en un determinado caso, las cuales posteriormente permitirán el cálculo de las preferencias globales del caso, que corresponden a la estimación de distribución de tiempo por parte del grupo de alumnos con respecto a las asignaturas cursadas.

##### 4.3.3.1 Diseño

A continuación se describe el diseño del caso de uso más significativo para el módulo de alumnos de la plataforma, que corresponde a “Manifestar preferencias en un caso”. Se presentará en detalle la composición de este caso de uso y su participación en el sistema.

#### 4.3.3.1.1 Caso de uso real más significativo

El caso de uso “Manifestar preferencias en un caso” ocurre cuando un alumno desea manifestar sus preferencias en un caso al cual ha sido asignado para participar. El caso de uso real “Manifestar preferencias en un caso” se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7: Diagrama de caso de uso Manifestar preferencias en un caso

Caso de Uso Manifestar preferencias en un caso	
<b>Actores:</b>	Alumno
<b>Propósito:</b>	Manifestar preferencias en un caso determinado.
<b>Tipo:</b>	Primario y esencial
<b>Resumen:</b> El alumno manifiesta sus preferencias en un caso al cual ha sido asignado por un administrador o creador, para que posteriormente sean usadas junto con las de los otros alumnos asignados al caso en el cálculo de las preferencias globales.	
Interfaz: Formulario manifestación de preferencias	

**L**

**Objetivo**

Esta plataforma tiene por objetivo obtener la distribución de tiempo que le asigna a las asignaturas que ha cursado, mediante comparaciones relativas entre estas asignaturas.  
Para esto se realizarán comparaciones por pares, es decir, se debe responder a la pregunta considerando todas las combinaciones de a pares que se puedan formar con las alternativas.  
En cada comparación, usted deberá manifestar su nivel de preferencia por las alternativas.  
Para responder a la pregunta considerando todos los pares de alternativas posibles, usted contará con los siguientes elementos.

**Panel de navegación**

- Utilizando el panel de navegación podrá moverse entre los distintos pares de alternativas, haciendo click en la casilla correspondiente.

PANEL DE NAVEGACIÓN

**M**

Curso normal de eventos	
<b>Acción Actor</b>	<b>Respuesta Sistema</b>
1. Este caso de uso comienza cuando un alumno desea manifestar sus preferencias en un caso al cual ha sido asignado.	2. El sistema despliega en la pantalla A la lista de casos en los que el alumno puede manifestar sus preferencias.
3. El alumno hace clic en B para manifestar sus preferencias en un caso.	4. El sistema despliega un formulario con la misma pregunta para cada par de asignaturas que se pueda formar a partir de las asignaturas asignadas al caso.
5. Para todas las preguntas que deseé responder, el alumno utiliza los sliders de la sección C para manifestar sus preferencias.	6. El sistema modifica el color de los slider de la sección C, junto con el elemento D, para reflejar las intensidades manifestadas por el alumno. Además modifica el panel de navegación E, indicando que la pregunta fue respondida.
7. El alumno presiona el botón F para enviar sus preferencias.	8. El sistema despliega la ventana emergente G.
9. El alumno presiona el botón H para confirmar que desea enviar sus preferencias.	10. El sistema envía las preferencias del alumno y despliega la ventana emergente G, con el mensaje de que las preferencias del alumno han sido ingresadas con éxito.
Curso alternativo de los eventos	
3a. El alumno hace click en el botón J de la sección C.	4a. El sistema restablece los valores de los sliders y el elemento D de la sección C, además elimina el checkbox del panel de navegación E correspondiente a la pregunta.
3b. El alumno hace click en el botón K.	4b. El sistema despliega la ventana emergente L con ayuda para el alumno.

En la Figura 40 se presenta el diagrama de secuencia para este mismo caso de uso, y así mostrar la interacción entre los distintos componentes del software que llevan a cabo esta tarea.

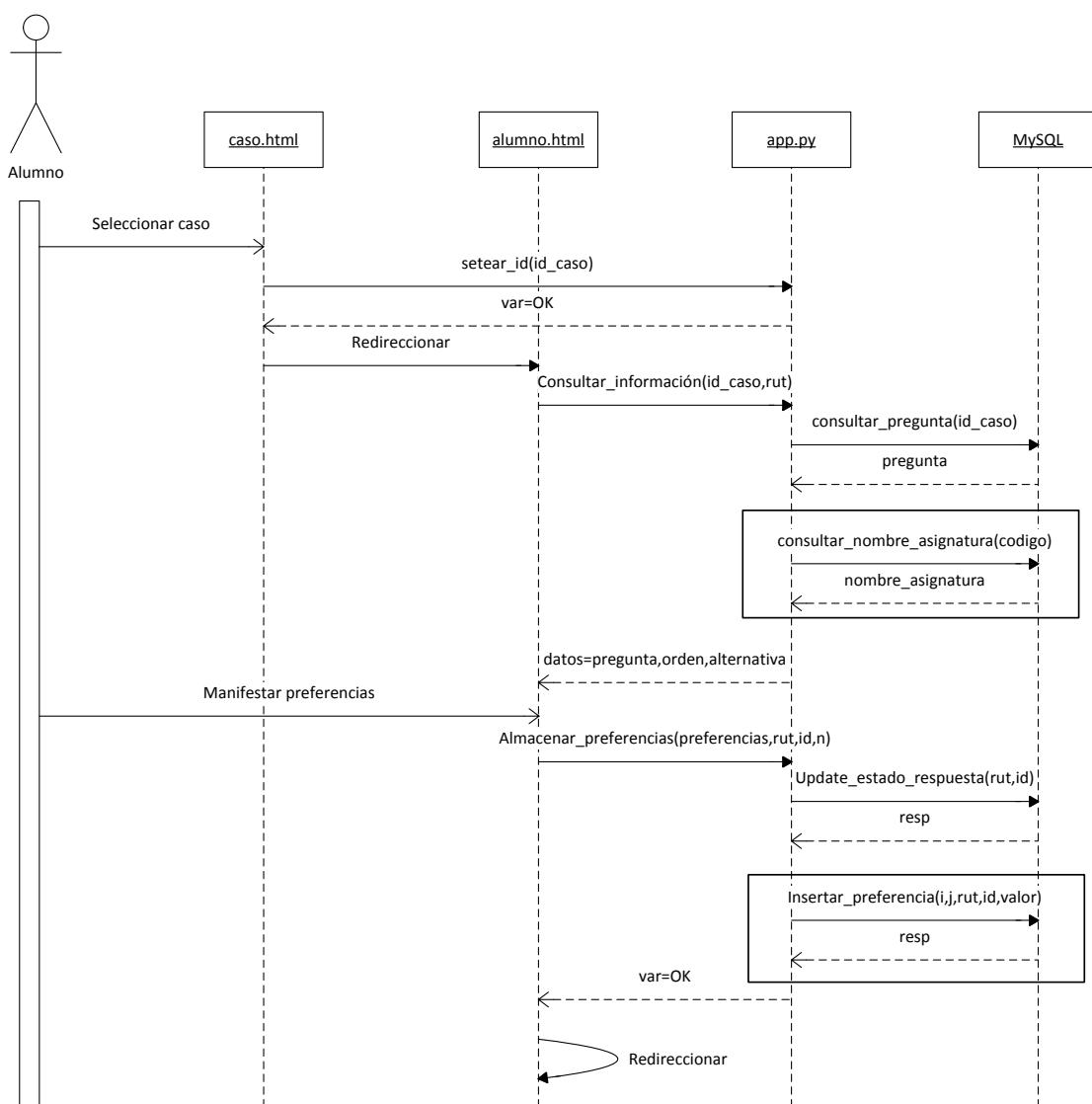


Figura 40: Diagrama de secuencia para el Caso de Uso Manifestar preferencias en un caso<sup>38</sup>

Cuando el alumno escoge el caso en el cual desea manifestar sus preferencias, la vista “casos.html” obtiene el id del caso seleccionado y es enviado al servidor solicitando la acción setear\_id, al controlador app.py, quien se encargará de tomar esta información, y utilizarla para almacenarla como una variable de sesión, posteriormente retornará una variable de éxito a la vista “caso.html”. Al recibir la variable de éxito la vista “caso.html” redirecciona al alumno a la vista “alumno.html”. La vista “alumno.html” utiliza la variable de sesión correspondiente al id del caso, y la utiliza para solicitar al servidor la acción “Consultar\_informacion”, la cual se encargará de solicitar la información a la base de datos, correspondiente a la pregunta y asignaturas asignadas al caso que fueron cursadas por el alumno. Luego el servidor envía a la vista “alumno.html” la información del caso, y ésta se encarga de desplegar el formulario

<sup>38</sup> Elaboración propia utilizando el software Microsoft Office Visio

correspondiente. Una vez que el alumno termina de manifestar sus preferencias en el formulario, selecciona la opción de enviar sus preferencias, la cual es detectada por la vista “alumno.html”, que recoge las preferencias manifestadas por el alumno y las envía al servidor junto con su rut y el id del caso, solicitando la acción “Almacenar preferencias”, la cual se encargara de traspasar las preferencias del alumno a la base de datos, y además actualizará el estado de la respuesta del alumno en el caso. Posteriormente se envía la respuesta al cliente, la cual corresponde a una variable que muestra que el proceso se realizó de forma exitosa.

#### 4.3.3.1.2 Diagrama de pantallas

El diagrama de pantallas busca presentar el flujo de trabajo correspondiente al módulo de alumnos y mostrar cómo el caso de uso más significativo del módulo “Manifestar preferencias en un caso” participa de dicho flujo. A continuación en la Figura 41 se presenta el paso de una pantalla hacia otra.

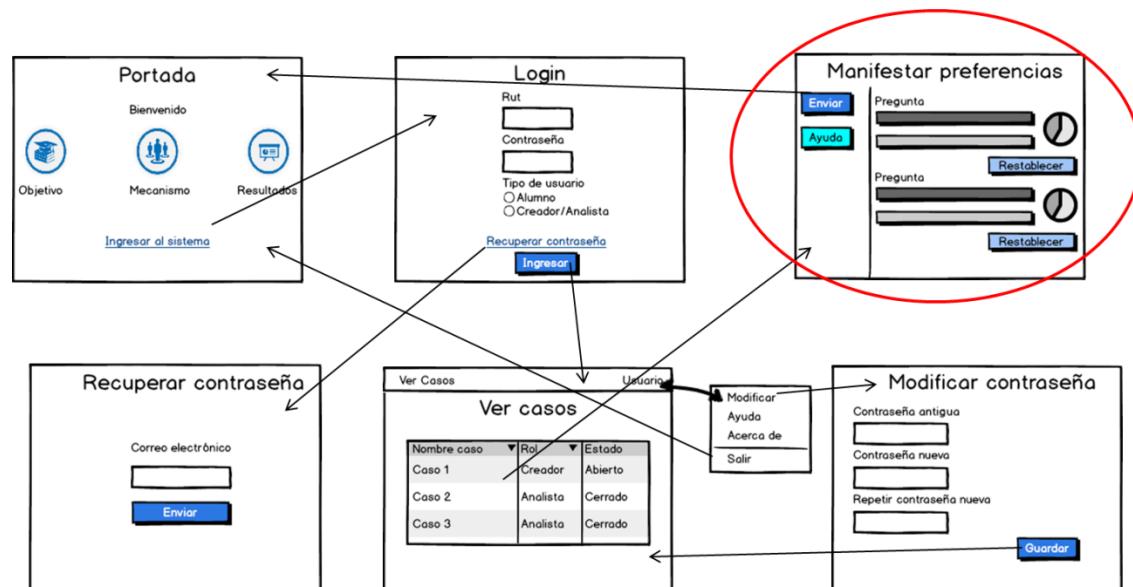


Figura 41: Diagrama de pantallas-Modulo alumnos

El flujo de trabajo, en este módulo, está compuesto por 6 pantallas que representan las distintas acciones que puede realizar un alumno dentro de la plataforma. La pantalla “Ver casos” es la vista principal, ya que una vez los alumnos se han *logueado*, pueden ir desde ésta a las demás vistas. La vista involucrada con el caso de uso “Manifestar preferencias en un caso” se destaca con un círculo rojo. Para simplificar el diagrama, se omitieron los mensajes de confirmación, ventanas de transición y acciones repetidas

#### **4.3.3.2 Implementación**

Este módulo se ha implementado en base al análisis y diseño de la plataforma, y permite que los alumnos manifiesten sus preferencias en los casos en que han sido asignados. El módulo de alumnos solo admite el tipo de usuarios alumno, y además permite que estos puedan modificar su contraseña y también recuperarla en caso de olvidarla.

##### **4.3.3.2.1 Dificultades de la implementación**

La principal dificultad a la hora de implementar el módulo de alumnos, corresponde al desarrollo de la interfaz del formulario que permite que los alumnos manifiesten sus preferencias. Esto debido a que la interfaz debe permitir que los alumnos emitan sus preferencias de manera intuitiva, sencilla y utilizando los valores de la escala de Saaty vistos en la sección 2.1.3. Sin embargo, los alumnos que emiten sus preferencias, deben poder hacerlo sin la necesidad de conocer la escala de Saaty, por lo que fue necesario crear una interfaz que fuera familiar para el alumno y que a la vez permitiera convertir los valores obtenidos por medio de esa interfaz en los valores de la escala de Saaty. En el Anexo A se puede ver el mecanismo que se utilizó para convertir los valores obtenidos mediante la interfaz en los valores de la escala de Saaty. Además debido a que al aumentar el número de asignaturas cursadas por un alumno también aumenta el número de comparaciones que debe hacer éste al momento de manifestar sus preferencias, la interfaz debe permitir que el alumno pueda desplazarse fácilmente, y a la vez mostrarle su progreso, para que éste no se sienta abrumado y pierda el interés por la encuesta debido al gran número de comparaciones. Por los motivos mencionados anteriormente es que la interfaz de este módulo sufrió varias modificaciones antes de tener el visto bueno por parte del equipo investigador.

##### **4.3.3.2.2 Consideraciones técnicas**

Dentro de las tecnologías para el desarrollo de la plataforma que fueron vistas en la sección 3.2, se utilizaron con mayor relevancia en este módulo las siguientes:

- **jQuery v1.10.2:** para facilitar el manejo de los objetos y eventos a través de Javascript.
- **jQuery UI v1.10.4:** para construir los slider que permiten a los alumnos manifestar su nivel de preferencia por una asignatura con respecto a la otra.

- **Bootstrap v3.1.1:** como marco de trabajo para la visualización de los distintos componentes de la interfaz del módulo, tales como, botones, tablas, menús, secciones, etc.

#### **4.3.4 Modulo administrador**

El módulo de administración permite que el administrador y el creador creen casos, asignando alumnos a éstos para que emitan sus preferencias. Además, este módulo permite la administración de los casos creados, permitiendo que su creador junto con los analistas y otros creadores asociados al caso, puedan ver los resultados que se obtengan a partir de las preferencias emitidas por los alumnos, y además puedan ver el progreso en cuanto a la participación de los alumnos en un determinado caso.

##### **4.3.4.1 Diseño**

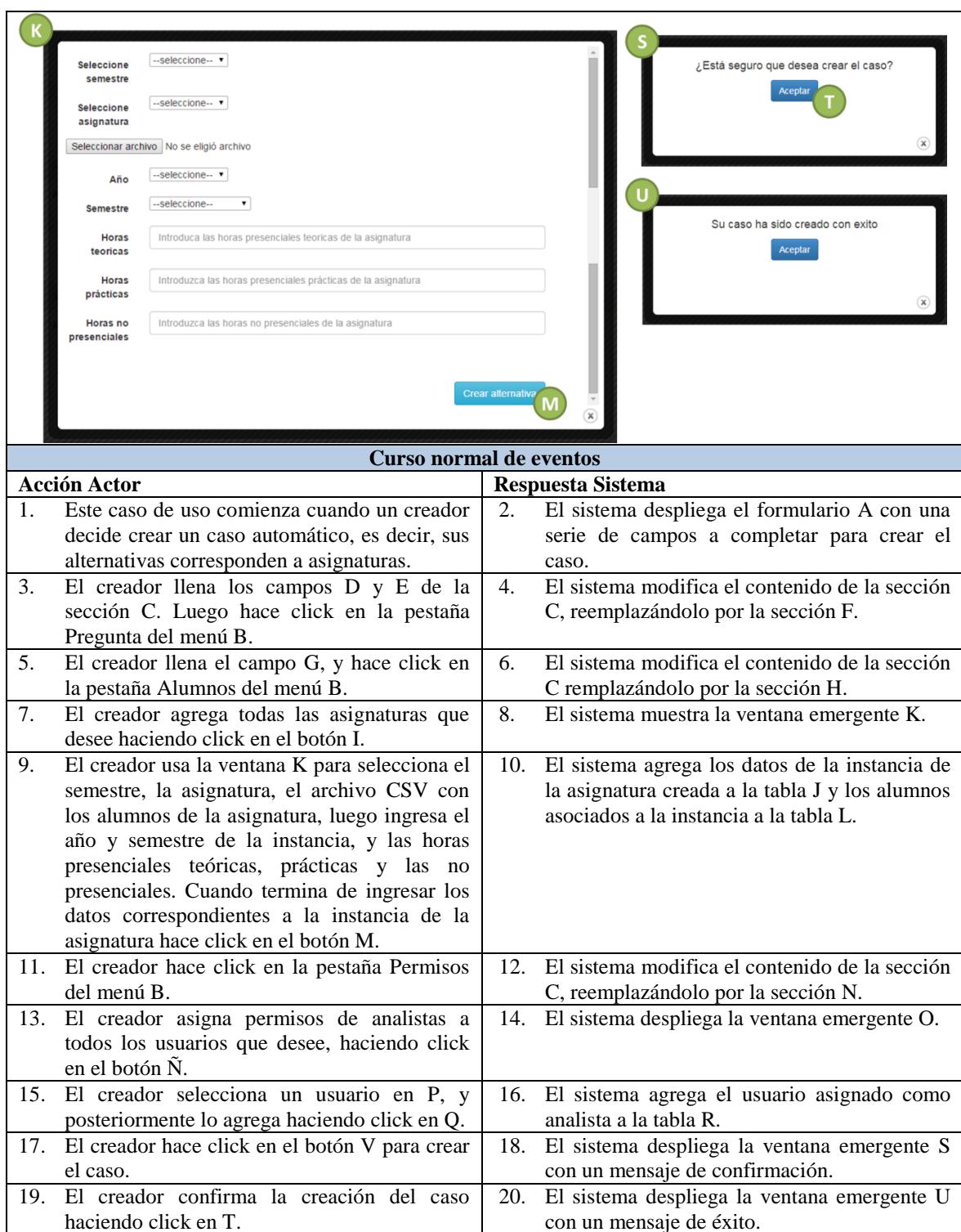
A continuación se describe el diseño de los dos casos de uso más significativos para el módulo de administración de la plataforma, que corresponden a “Crear un caso automático” y al caso de uso “Ver resultados”. Se presentará en detalle la composición de estos casos de uso y su participación en el sistema.

###### **4.3.4.1.1 Casos de uso reales más significativos**

El caso de uso “Crear caso automático” ocurre cuando un administrador o creador desea crear un caso, cuyas alternativas corresponden a asignaturas, para que posteriormente sea respondido por los alumnos asignados a éste, y sus resultados sean revisados por el administrador, creadores y/o analistas. El caso de uso real “Crear caso automático” se presenta en la Tabla 8.

Tabla 8: Caso de uso real Crear caso automático

Caso de Uso Crear caso automático	
<b>Actores:</b>	Administrador o Creador
<b>Propósito:</b>	Crear un caso para que los alumnos asignados a este puedan emitir sus preferencias.
<b>Tipo:</b>	Primario y esencial
<b>Resumen:</b> El administrador o creador, crea un caso, asignándole un nombre, descripción, pregunta, asignaturas, alumnos y permisos para que posteriormente éste sea respondido por alumnos, y sus resultados sean revisados por el administrador, creadores y/o analistas.	
Interfaz: Formulario manifestación de preferencias	



En la Figura 42 se presenta el diagrama de secuencia para este mismo caso de uso, y así mostrar la interacción entre los distintos componentes del software que llevan a cabo esta tarea.

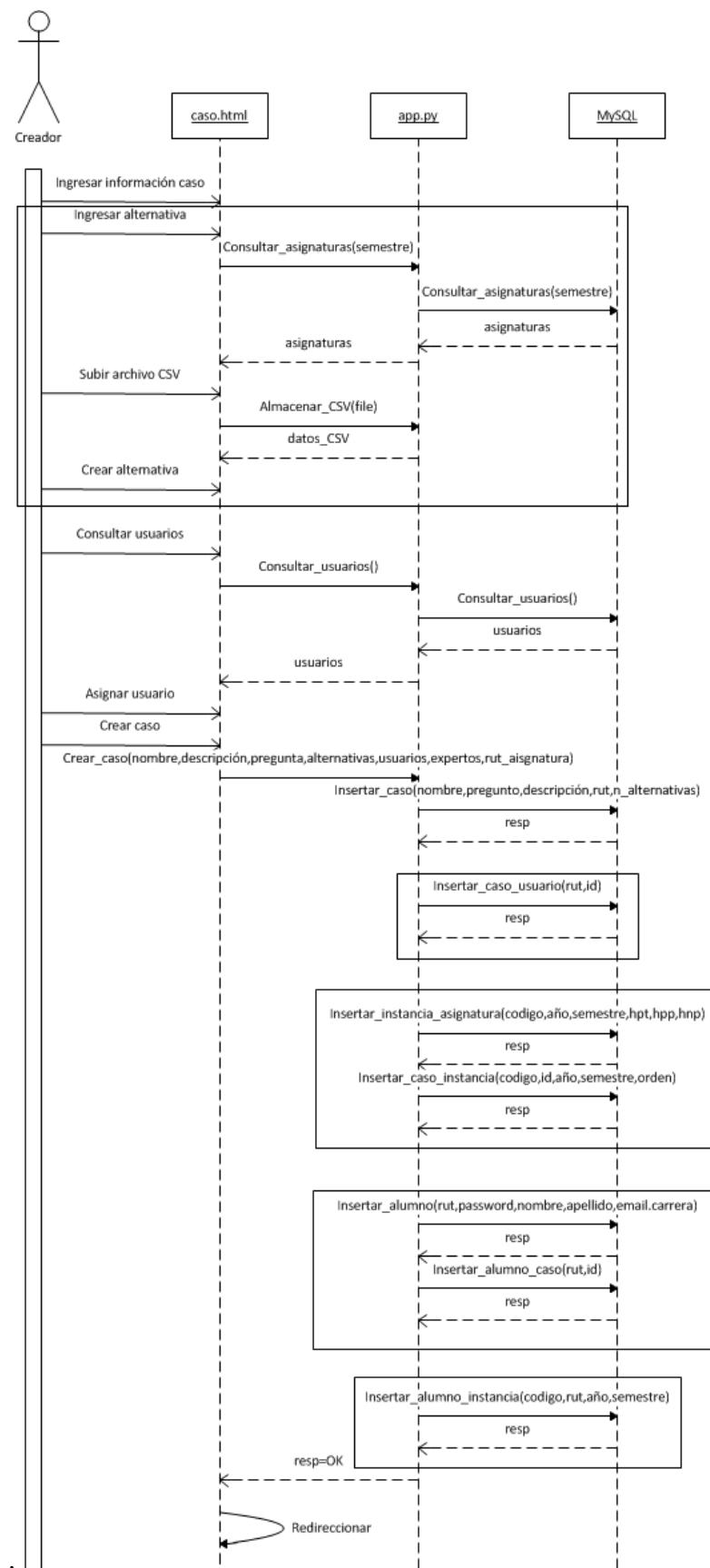


Figura 42: Diagrama de secuencia Crear caso automático

Para crear un caso, el creador ingresa la información para identificar el caso en la vista “crear\_caso.html”, posteriormente, cuando el creador desea asignar instancias de

asignaturas al caso, éste selecciona un semestre de la malla curricular, la vista “crear\_caso.html” obtiene el semestre seleccionado y lo envía al servidor solicitando la acción “Consultar\_asignaturas” al controlador app.py, quien se encargará de tomar el semestre, y utilizarlo para solicitar a la base de datos las asignaturas que forman parte de dicho semestre, luego el servidor envía a la vista “crear\_caso.html” las asignaturas disponibles en el semestre seleccionado, el creador selecciona una asignatura y sube a la vista “crear\_caso.html” un archivo CSV con los alumnos que cursan la instancia de la asignatura seleccionada, este archivo es capturado por la vista “crear\_caso.html” y es enviado al servidor solicitando la acción “Almacenar\_CSV”, el servidor se encarga de leer el archivo CSV y retornar los datos de los alumnos a la vista “crear\_caso.html”, luego de esto el creador completa los datos correspondientes a la instancia de la asignatura y crea la alternativa. Posteriormente el creador consulta por los usuarios disponibles para asignar como analistas, evento que es capturado por la vista “crear\_caso.html”, la vista solicita al servidor la acción “Consultar\_usuarios”, y el servidor procede a solicitar a la base de datos los usuarios que pueden asignarse como analistas del caso, el servidor procede a enviar la información a la vista “crear\_caso.html”, luego el creador procede a seleccionar un usuario y asignarlo como analista. El creador puede asignar varias asignaturas y varios analistas. Cuando el creador ha completado todas las etapas de la creación del caso, éste selecciona la opción crear caso, esto es detectado por la vista “crear\_caso.html”, la cual recoge toda la información proporcionada por el creador, y posteriormente la envía al servidor, solicitando la acción “Crear\_caso” al controlador app.py, el servidor traspasa la información a la base de datos, insertando el nuevo caso, asignando los analistas al caso, creando las instancias de las asignaturas, insertando los alumnos y asociando los alumnos al caso recién creado. Posteriormente, luego de recibir la confirmación por parte de la base de datos para cada una de estas tareas, el servidor envía la respuesta al cliente, que corresponde al mensaje “OK”, indicando que el caso se creó de manera exitosa.

El caso de uso “Ver resultados” corresponde al caso de uso extendido de “Administrar casos” y ocurre cuando un administrador, creador o analista desea ver los resultados de un caso, lo cual incluye ver las preferencias globales del caso a través de gráficos, que representan la estimación de la distribución de tiempo que tienen los alumnos asignados al caso con respecto a las asignaturas que cursaron, además puede gráficos que comparan los resultados con respecto a las distintas métricas lp, y otro gráfico que

permite comparar las horas propuestas para las asignaturas por programa con las horas estimadas en base a las preferencias globales. El caso de uso real se puede ver en la Tabla 9.

Tabla 9: Diagrama de caso de uso real Ver resultados

Caso de Uso Ver resultados		
<b>Actores:</b>	Administrador, Creador o analista	
<b>Propósito:</b>	Ver los resultados de un caso.	
<b>Tipo:</b>	Secundario y esencial	
<b>Resumen:</b> El administrador, creador o analista selecciona el caso del cual desea ver sus resultados, una vez seleccionado, éste puede ver por medio de gráficos de torta y de barras las preferencias globales del caso, que corresponden a una estimación de las distribución del tiempo que los estudiantes asignados al caso le dedican a las asignaturas que han cursado y que han sido asignadas al caso. Además éstos pueden ver gráficos que comparan las preferencias globales con respectos a las distintas métricas lp, y que comparan las horas propuestas para las asignaturas por programa con las horas dedicadas por los estudiantes, estimadas por medio de las preferencias globales.		
Interfaz: Formulario manifestación de preferencias		

**J**

Subject	Value
GEOMETRIA PARA INGENIERIA	0.33
BAIN012	0.33
INFO015	0.33
BAIN017	0.33
BAIN019	0.33
DYRE060	0.33
INFO013	0.33

**K**

Subject	Value
BAIN09	0.02
BAIN12	0.33
BAIN17	0.41
BAIN19	0.06
DYRE060	0.03
INFO013	0.08
INFO015	0.08

**L**

**M**

Pregunta: ¿A que ramo le dedica más tiempo?  
 Metrica: 1  
 Filtro de matrices: completas  
 Filtro inconsistencia: 0.1  
 Total de alumnos en el caso: 81  
 Alumnos que cursan al menos n-1 asignaturas: 60  
 Grupo 1: Todas las asignaturas  
 Total de alumnos para este grupo: 50  
 Encuestas respondidas a la fecha: 28/50  
 Encuestas que pasaron el filtro: 10/28

**N**

**O**

Subject	Metrica 1	Metrica 2	Metrica infinito
BAIN09	0.03	0.03	0.10
BAIN12	0.28	0.19	0.17
BAIN17	0.33	0.41	0.28
BAIN19	0.06	0.06	0.10
DYRE060	0.04	0.05	0.10
INFO013	0.09	0.17	0.15
INFO015	0.09	0.09	0.10

**P**

Subject	Horas propuestas por programa	Horas dedicadas por el estudiante
BAIN09	170.00	41.00
BAIN12	255.00	334.00
BAIN17	255.00	401.00
BAIN19	160.00	66.00
DYRE060	51.00	44.00
INFO013	170.00	209.00
INFO015	150.00	111.00

**Q**

grupo 1 ▾

Nombre asignatura

- COMUNICACION IDIOMA ESPANOL
- GEOMETRIA PARA INGENIERIA
- ALGEBRA PARA INGENIERIA
- QUIMICA PARA INGENIERIA
- EDUCACION FISICA Y SALUD
- INTRODUCCION A LA PROGRAMACION
- TALLER DE INGENIERIA I

Respuestas: 28/50

**R**

Cambiar grupo

**S**

**Curso normal de eventos**

Acción Actor	Respuesta Sistema
1. Este caso de uso comienza cuando un creador desea ver los resultados de un caso que ha creado.	2. El sistema despliega en la pantalla A la lista de casos en que el creador puede ver sus resultados.
3. El creador hace clic en B para ver los resultados de un caso.	4. El sistema despliega la ventana emergente C mientras carga los datos del caso. Posteriormente despliega la pantalla D.
5. El creador hace clic en E.	6. El sistema despliega la pantalla F.
7. El creador hace clic en la opción “Gráfico de torta” del menú G.	8. El sistema modifica la sección H remplazándola por la sección J.

9. El creador usa la sección J para ver las preferencias globales del caso. Posteriormente hace clic en el botón K para ver información adicional del caso.	10. El sistema despliega la ventana emergente M.
11. Luego de revisar la información el creador hace clic en el botón N.	12. El sistema cierra la ventana emergente M.
13. El creador hace clic en la opción “Gráfico de barras” del menú G.	14. El sistema modifica la sección H reemplazándola por la sección L.
15. El creador usa la sección L para ver de otra forma las preferencias globales. Posteriormente el creador hace clic en la opción “Comparación de métricas” del menú G.	16. El sistema modifica la sección H reemplazándola por la sección O.
17. El creador usa la sección O para ver la comparación de las preferencias globales en base a las distintas métricas lp. Posteriormente el creador hace clic en la opción “Comparación distribución de cargas”.	18. El sistema modifica la sección H reemplazándola por la sección P.
19. El creador usa la sección P para ver la comparación entre las horas contempladas para una asignatura por programa con las horas estimadas de dedicación en base a las preferencias globales.	
<b>Curso alternativo de los eventos</b>	
7a. El creador modifica alguno de los campos de la sección H, y posteriormente hace clic en I para aplicar los cambios.	8a. El sistema actualiza el contenido de todas las opciones del menú G, excepto la sección Q.
7b. El creador cambia el grupo de alumnos escogido para el cálculo de las preferencias globales en la sección Q, y posteriormente hace clic en el botón R.	8b. El sistema actualiza el contenido de todas las opciones del menú G, excepto la sección H.

En la figura 43 se presenta el diagrama de secuencia para este mismo caso de uso, y así mostrar la interacción entre los distintos componentes del software que llevan a cabo esta tarea. Para acotar la extensión del diagrama, se han omitido las consultas a la base de datos, el diagrama completo puede ser revisado en el Anexo B.

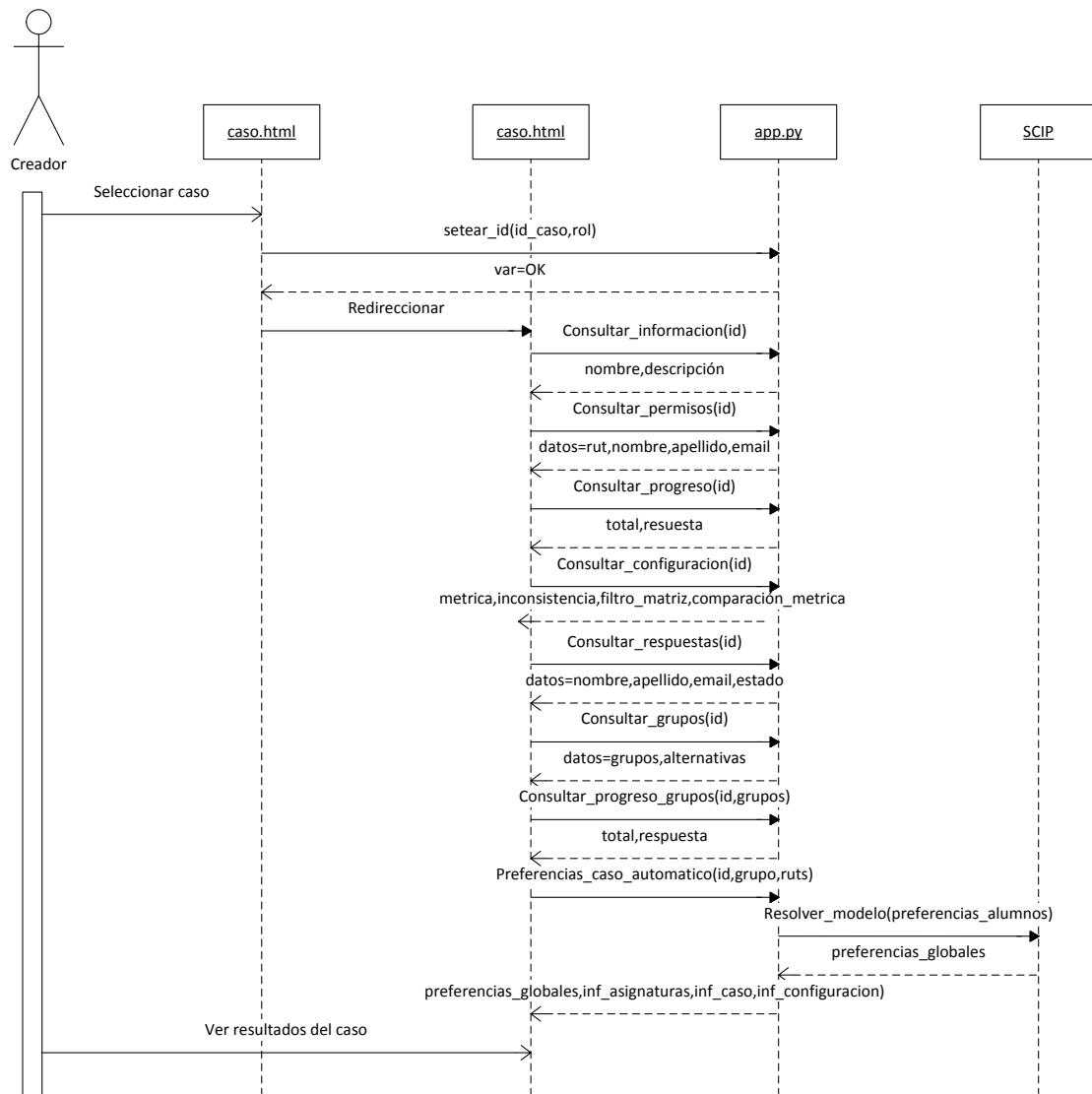


Figura 43: Diagrama de secuencia Caso de uso Ver resultados

Cuando el administrador, creador o analista escoge el caso en el cual desea ver los resultados, la vista “casos.html” obtiene el id del caso seleccionado y lo envía al servidor solicitando la acción “setear\_id”, al controlador app.py, quien se encargará de tomar esa información, y utilizarla para almacenarla como una variable de sesión, posteriormente enviará una respuesta al cliente que corresponde a una variable que indica que la operación fue exitosa a la vista “casos.html”. Al recibir la variable de éxito, la vista “casos.html” redirecciona al creador a la vista “caso.html”. La vista “caso.html” utiliza la variable de sesión correspondiente al id del caso para enviarla al controlador app.py del servidor, solicitando sucesivas acciones de éste, que se encargarán de solicitar la información necesaria para desplegar los resultados en la vista “caso.html”. Estas acciones corresponden a “Consultar\_informacion”, la cual solicita a la base de datos el nombre y descripción del caso, “Consultar\_permisos”, que solicita a la base de datos los usuarios que tienen permisos de analista en el caso, “Consultar\_progreso”, que consulta

la cantidad de alumnos asignados al caso, y la cantidad de alumnos que han respondido el caso, “Consultar\_configuracion”, que consulta los parámetros necesarios para el cálculo de las preferencias globales, “Consultar\_grupos”, que consulta los grupos de estudiantes que se forman en la el caso, en relación a las asignaturas que cursaron, “Consultar\_progreso\_grupo”, que consulta por el progreso del grupo por defecto, es decir, el grupo de los estudiantes que cursaron el total de asignaturas del semestre al cual corresponde el caso, y la acción “Preferencias\_casoAutomatico”, que corresponde a la acción más importante del controlador, ya que ésta se encarga de consultar los parámetros para calcular las preferencias globales, consultar por los alumnos que pertenecen al grupo por defecto y que han respondido el caso, consultas las preferencias de cada uno de estos alumnos, almacenar todas esas preferencias en una matriz, y enviarla a “SCIP” para que éste se encargue de calcular las preferencias globales, posteriormente consulta la información correspondiente a las asignaturas cursadas por los alumnos del grupo, y finalmente consulta por el número total de alumnos asignados al caso. Cuando cada acción del controlador app.py obtiene la información que solicita a la base de datos, se encarga de enviarla a la vista ”caso.html”, cuando ésta tiene toda la información necesaria, despliega todo el contenido en pantalla, y el creador puede ver los resultados del caso.

#### **4.3.4.1.2 Diagrama de pantallas**

El diagrama de pantallas busca presentar el flujo de trabajo correspondiente al módulo de administración y mostrar cómo los casos de uso más significativos del módulo, que corresponden a “Crear caso automático” y “Ver resultados” participan de dicho flujo. En la Figura 44 se presenta el paso de una pantalla hacia otra.

El flujo de trabajo, en este módulo, está compuesto por 9 pantallas que representan de manera general las distintas acciones que pueden realizar el administrador, creadores y analistas en la plataforma. La pantalla “Ver casos” es la vista principal, ya que una vez los usuarios se han logueado, pueden ir desde ésta a las demás vistas. Las vistas involucradas con los casos de uso “Crear caso automático” y “Ver resultados” se destacan con un círculo rojo. Para simplificar el diagrama, se omitieron los mensajes de confirmación, ventanas de transición y acciones repetidas. Además, el diagrama agrupa la totalidad de posibles acciones, a pesar de que el creador y analista solo tienen acceso a un subconjunto de éstas.

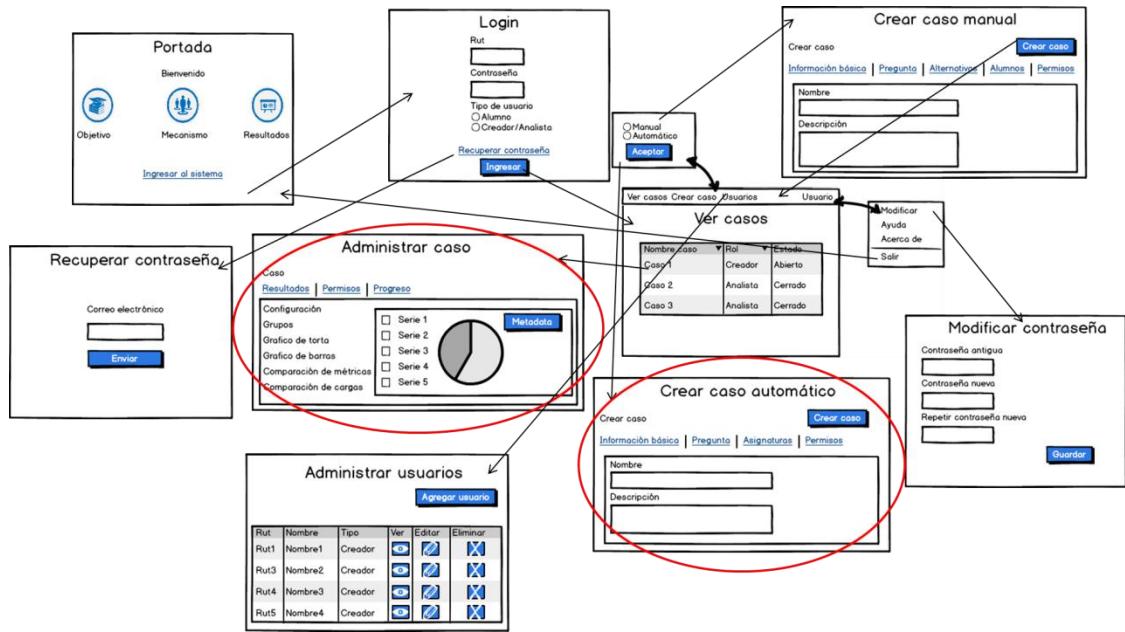


Figura 44: Diagrama de pantallas-Módulo administración

#### 4.3.4.2 Implementación

Este módulo se ha implementado en base al análisis y diseño de la plataforma, y permite la creación y administración de casos y de usuarios de la plataforma. El módulo de administración identifica y diferencia los privilegios de tres tipos de usuarios, los cuales son: Administrador, creador de casos y analista de casos.

##### 4.3.4.2.1 Dificultades de la implementación

La implementación de este módulo tuvo varias dificultades, la primera corresponde a que se tuvo que adaptar la forma de ingresar los alumnos al momento de crear un caso, a la manera en que el sistema administrativo de la Universidad entrega los datos, ya que actualmente no está disponible una base de datos con los alumnos y sus asignaturas cursadas, motivo por el cual se optó por utilizar el sistema administrativo de la Universidad, el cual permite obtener archivos Excel que posteriormente se pueden guardar como archivos de extensión csv, y que permitirán el ingreso de los alumnos a la plataforma al momento de crear una instancia de una asignatura.

Otra dificultad fue la confección del algoritmo que permite identificar todos los grupos de alumnos que se forman dentro de los alumnos asignados al caso, esto ya que solo se debía considerar todas las intersecciones de alumnos que cursaban al menos  $n-1$  asignaturas, siendo  $n$  el total de asignaturas asignadas al caso.

También se encontraron dificultades en la implementación del modelo matemático de cuantificación de preferencias, ya que no se conocía la sintaxis que se debía utilizar, esto debido a la escasa documentación que existía con respecto al módulo de Python llamado Python-zibopt, que permite la comunicación entre Python y SCIP. Además para corroborar que el modelo implementado estaba correcto, se realizaron sucesivas pruebas, comparando los resultados del modelo con los del software LINDO. Estas pruebas se pueden revisar en la sección 4.6.

Otra dificultad, fue la representación visual de los resultados, la cual se vio solucionada mediante la utilización de la librería javascript NVD3 que es una variación de D3. Esta librería permitió realizar gráficos de torta y de barras, y a la vez incluir varias series en un mismo gráfico, lo cual simplificó bastante el despliegue de la información obtenida por medio de las preferencias globales. El uso de esta librería implico la adquisición de nuevos conocimientos sobre su funcionamiento y tiempo de desarrollo dentro del módulo de la plataforma. Una vez adquiridos los conocimientos y desarrollado el primer gráfico, el desarrollo de los siguientes fue mucho más sencillo, y permitió ahorrar tiempo que se destinó a otras tareas.

#### 4.3.4.2.2 Consideraciones técnicas

Dentro de las tecnologías para el desarrollo de la plataforma que fueron vistas en la sección 3.2, se utilizaron con mayor relevancia en este módulo las siguientes:

- **jQuery v1.10.2:** para facilitar el manejo de los objetos y eventos a través de Javascript.
- **jQuery UI v1.10.4:** para construir los slider que permiten a los alumnos manifestar su nivel de preferencia por una asignatura con respecto a la otra.
- **Bootstrap v3.1.1:** como marco de trabajo para la visualización de los distintos componentes de la interfaz del módulo, tales como, botones, tablas, barras de progreso, menús, secciones, etc.
- **NVD3:** como marco de trabajo para la representación visual de los resultados obtenidos en el caso, a través de gráficos de torta y barras.
- **SCIP:** como optimizador, para resolver el modelo matemático de cuantificación de preferencias.
- **Python-zibopt:** como interfaz entre Python y SCIP, permitiendo la comunicación entre éstos, es decir, que se pueda programar el modelo

matemático utilizando la sintaxis de python para posteriormente ser entendido y resuelto por SCIP.

#### **4.3.5 Estructuras de datos**

En este apartado, se presentan las distintas estructuras de datos utilizadas para almacenar y manipular las preferencias manifestadas por los estudiantes, y las preferencias globales obtenidas a partir de las preferencias de los estudiantes.

##### **4.3.5.1 Estructura matricial en donde se almacenan las preferencias**

Cuando un alumno emite sus preferencias en un caso determinado, estas preferencias se almacenan en una matriz, que representa la matriz de comparación por pares vista en la sección 2.2.2 . En un principio estas son almacenadas usando el objeto `new Array()` de javascript, posteriormente cuando son enviadas al servidor, estas son almacenadas utilizando el módulo numpy para programación científica de python, usando la sintaxis `np.zeros((n,n), Decimal)` para crear la matriz, siendo `n` el número de alternativas, y `Decimal` el tipo de dato que se almacena. De esta manera es posible organizar la información de cada estudiante para su posterior almacenamiento en la base de datos.

##### **4.3.5.2 Estructura matricial que utiliza la capa de negocios**

Cuando el sistema requiere calcular las preferencias globales de un caso, éste consulta a la base de datos por las preferencias de cada alumno, las que almacena utilizando numpy y usando la sintaxis `np.zeros((n,n), Decimal)` para crear la matriz, luego que se analice la matriz de cada alumno, para ver si pasa los filtros determinados, como por ejemplo si la matriz es completa o no, o si pasa el filtro de inconsistencia, se crea una matriz mucho más grande, con la siguiente sintaxis `np.zeros((n_matrices_aprobadas, n), Decimal)`, en donde `n_matrices_aprobadas` corresponde al número de matrices que pasaron los filtros, `n` corresponde al número de alternativas y `Decimal` corresponde al tipo de dato que se almacena en la matriz. Una vez creada la matriz, esta se puede entregar al modelo matemático para que éste devuelva las preferencias globales del caso.

#### **4.3.5.3 Estructura de datos que se entrega a la librería para que se puedan visualizar los datos**

La biblioteca NVDR.js, la cual está encargada de generar la visualización de las preferencias globales de cada caso, posee su propia forma de manejar los datos, a continuación se muestra la estructura que se utilizó en la confección de cada uno de los gráficos que se muestran en la plataforma.

##### **4.3.5.3.1 Gráfico de torta**

Para organizar los datos que se emplearán en la creación del gráfico de torta se utilizan arreglos independientes de objetos con sus respectivos atributos (estructura JSON<sup>39</sup>), lo cual permite que la estructura pueda ser modificada en cuanto a los atributos de cada objeto (label y value). El atributo label permite asignar una etiqueta a cada componente del gráfico, y el atributo value un valor. En la Figura 45 se muestra un ejemplo de estructura JSON que permite la creación de un gráfico de torta y en la Figura 46 se muestra el gráfico de torta asociado a esa estructura.

```
Preferencias_globales= [
    {"label": "BAIN009", "value": 0.03}, {"label": "BAIN012", "value": 0.3}, ,
    {"label": "BAIN017", "value": 0.36}, {"label": "BAIN019", "value": 0.06}, ,
    {"label": "DYRE060", "value": 0.03}, {"label": "INFO013", "value": 0.12}
], {"label": "INFO015", "value": 0.1}
```

Figura 45: Estructura JSON para gráfico de torta

---

<sup>39</sup> JavaScript Object Notation. <http://json.org/>

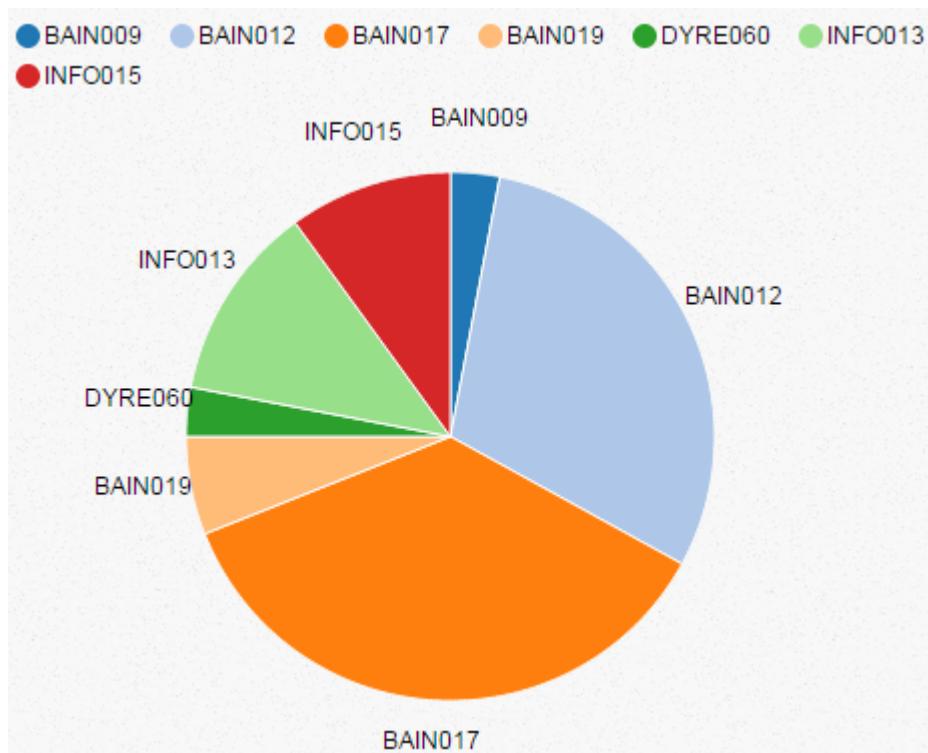


Figura 46: Gráfico de torta desplegado a partir de una estructura JSON

#### 4.3.5.3.2 Gráfico de barras

Para organizar los datos que se emplearán en la creación del gráfico de barra se utiliza una estructura de datos JSON similar a la utilizada para el gráfico de torta, lo que cambia es que ahora cada objeto tiene tres atributos, “key”, que corresponde al nombre de la serie de datos, “color”, que corresponde al color de la serie, y “values”, que corresponden a los datos de la serie, y que corresponde al mismo grupo de datos utilizado en el gráfico de torta. Si se quieren agregar más series en el mismo gráfico de barras, como por ejemplo, para comparar los resultados de las distintas métricas o comparar la distribución de horas en las asignaturas de los estudiantes estimadas a partir de las preferencias globales con las horas propuestas por programa, solo se deben agregar más componentes, es decir, con su respectivo “key”, “color” y “values”.

En la Figura 47 se muestra un ejemplo de estructura JSON que permite la creación de un gráfico de barras y en la Figura 48 se muestra el gráfico de barras asociado a esa estructura.

```

Preferencias_globales=[  

    {  

        "key": "Asignatura",  

        "color": "#4f99b4",  

        "values": [  

            { "label" : "BAIN009" , "value" : 0.03} , { "label" : "BAIN012" , "value" : 0.3} ,  

            { "label" : "BAIN017" , "value" : 0.36} , { "label" : "BAIN019" , "value" : 0.06} ,  

            { "label" : "DYRE60" , "value" : 0.03} , { "label" : "INFO013" , "value" : 0.12} ,  

            { "label" : "INFO015" , "value" : 0.1}  

        ]  

    }  

]

```

Figura 47: Estructura JSON para gráfico de barras

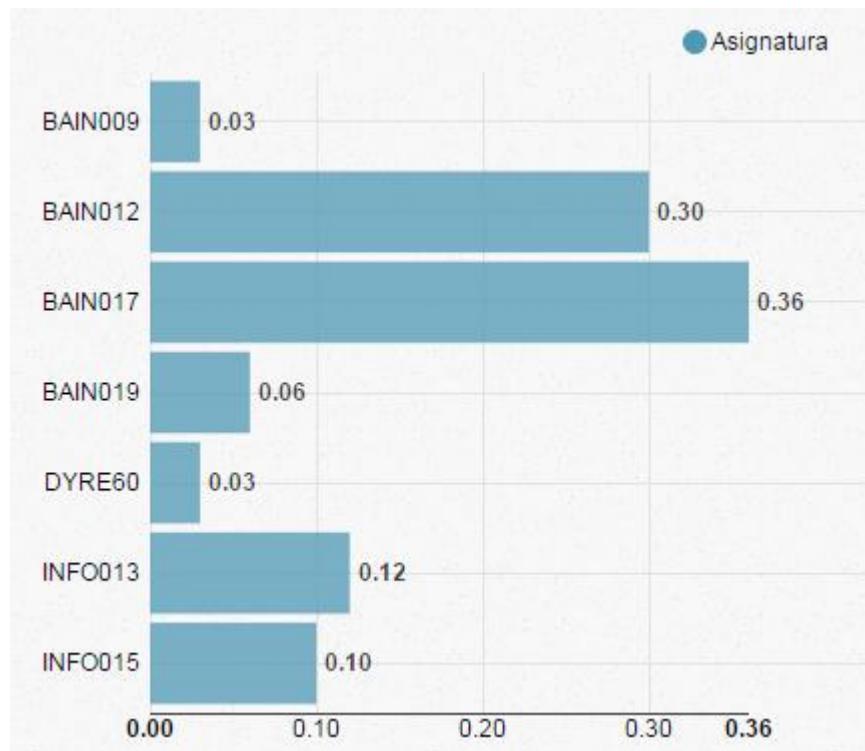


Figura 48: Gráfico de barras desplegado a partir de una estructura JSON

## 4.4 Validación del software

En esta sección se presentarán las distintas pruebas realizadas para validar algunas de las funcionalidades del producto software.

### 4.4.1 Cumplimiento de requisitos

Para realizar la validación de los requisitos, se utilizaron las matrices de trazabilidad de las Tablas 3 y 4, sección 4.2.1, correspondientes a los módulos alumno y administración respectivamente, con el fin de verificar si los distintos requisitos establecidos al

principio del proyecto en conjunto con el equipo de investigación han sido cubiertos por el proceso de desarrollo de software descrito en los capítulos anteriores.

Debido a la metodología de entrega incremental escogida para el desarrollo del proyecto, fue necesario verificar a cabalidad el cumplimiento de los requisitos del módulo de alumnos antes de pasar a desarrollar el módulo de administración. Cada verificación se hizo en conjunto con el equipo de investigación, los cuales en algunos casos sugirieron algunos cambios antes de dar por validado el requisito. En ambos módulos, los cambios que se sugirieron fueron netamente relacionados con la interfaz de éstos, principalmente con información que estaba de más o que faltaba en pantalla, además de la organización de dicha información.

Los requisitos y casos de uso afectados por las modificaciones en la validación de cada módulo se ven en la Tabla 10.

Tabla 10: Matriz de trazabilidad para requisitos que sufrieron modificaciones

Casos de uso/ Requisitos	CU-007	CU-008	CU-009	CU-010	CU-011	CU-014	CU-015	CU-016	CU-018	CU-019
<b>REQF-004</b>										X
<b>REQF-009</b>						X		X	X	
<b>REQF-011</b>	X	X		X						
<b>REQF-013</b>			X		X					
<b>REQF-017</b>			X		X					

#### 4.4.2 Cálculo de preferencias globales

Uno de los requisitos iniciales y más importantes del software es calcular las preferencias globales de un grupo de estudiantes a partir de las preferencias individuales de cada uno, para hacer esto posible se requiere de la implementación de los modelos matemáticos de cuantificación de preferencias vistos en la sección 2.2.5.

A pesar de que el requisito correspondiente a ver los resultados de un caso pertenece al módulo de administración, es decir, el segundo incremento, la implementación del

modelo matemático se realizó en el primero, producto de la importancia que tenía para el resto del producto software.

La implementación del modelo se llevó a cabo usando el lenguaje de programación Python, mediante el módulo python-zibopt, que permite generar y resolver problemas de optimización en Python 2.7 usando SCIP. En la Figura 49 se puede ver la implementación del modelo métrica  $p=1$  visto en la sección 2.2.4.1.

```

1  def modelo_p_1(M):
2      solver = scip.solver()
3
4      w=[]
5      n=[]
6      p=[]
7
8      for i in range (0,4):
9          w.append(solver.variable(scip.CONTINUOUS))
10         new_n=[]
11         new_p=[]
12         for j in range (0,4):
13             new_n.append(solver.variable(scip.CONTINUOUS))
14             new_p.append(solver.variable(scip.CONTINUOUS))
15             n.append(new_n)
16             p.append(new_p)
17
18         for i in range (0,4):
19             for j in range (0,4):
20                 solver += M[i][j]*w[j]-w[i]+n[i][j]-p[i][j]==0
21
22         solver += w[0]+w[1]+w[2]+w[3]==1
23
24         solution=solver.minimize(
25             objective=sum(
26                 sum(n[i][j]+p[i][j] for j in range(0,4))
27                 for i in range (0,4)
28             ))
29
30         if solution:
31             print('z =', solution.objective)
32             print('w1 =', solution[w[0]])
33             print('w2 =', solution[w[1]])
34             print('w3 =', solution[w[2]])
35             print('w4 =', solution[w[3]])
36         else:
37             print('invalid problem')

```

Figura 49: Implementación del modelo matemático con métrica  $p=1$

En la Figura 49 se puede apreciar una función que recibe como parámetro a  $M$ , que representa una matriz cuadrada de dimensión cuatro, en la línea 2 se crea el objeto `solver`, que representa el modelo, en el cual se agregarán todas las variables. Posteriormente, en las líneas 4, 5 y 6 se crean los arreglos en donde se almacenarán las variables  $w$ ,  $n$  y  $p$ , luego se crean y almacenan dichas variables. Posteriormente, en las líneas 20 y 22 se crean las restricciones, usando las variables creadas y los valores de la matriz  $M$ . Para finalizar, en la línea 25 se define la función objetivo y en la línea 30 se muestra en pantalla la solución obtenida en caso de que exista.

Una vez implementadas las métricas  $p=1$ ,  $p=2$  y  $p=\infty$ , se procedió a validar si éstas funcionaban correctamente. Para esto, se usó un ejemplo que aparecía en el paper “Consistency-driven approximation of a pairwise comparison matrix” [Dop02], en el que aparecía la matriz de entrada, y las distintas soluciones para cada métrica, por lo que se usó esa matriz en cada uno de los métodos, y se compararon los resultados obtenidos con los que aparecían dicho paper. En la Tabla 11 se muestra la comparación de los resultados obtenidos mediante los modelos implementados en Python y los resultados que aparecen en el paper. En el Anexo C se puede ver la matriz que fue utilizada para realizar las pruebas.

Tabla 11: Comparación de cálculos del software con paper

Métrica	Paper	Software
$p=1$	$\begin{bmatrix} 0.3030 \\ 0.1515 \\ 0.4545 \\ 0.0909 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.30303030303030304 \\ 0.15151515151515152 \\ 0.4545454545454546 \\ 0.09090909090909093 \end{bmatrix}$
$p=2$	$\begin{bmatrix} 0.2919 \\ 0.1485 \\ 0.4644 \\ 0.0951 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.29192342681051076 \\ 0.14858768696586513 \\ 0.4643288299144989 \\ 0.09516005630912519 \end{bmatrix}$
$p=\infty$	$\begin{bmatrix} 0.2979 \\ 0.1303 \\ 0.4672 \\ 0.1045 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.27173913043478265 \\ 0.1630434782608696 \\ 0.4619565217391305 \\ 0.1032608695652174 \end{bmatrix}$

En la Tabla 11 se puede apreciar que las preferencias o soluciones obtenidas mediante el software son muy similares a las que aparecen en el paper para cada métrica, la única diferencia que se aprecia es que las soluciones obtenidas mediante el software tienen más decimales, lo cual es totalmente despreciable. Esto significa que los métodos implementados para cada métrica  $l_p$  funcionan correctamente.

Luego de que fueron validados los tres modelos, éstos se adaptaron a preferencias de grupo, por lo que las matrices a considerar como entrada son  $k$  matrices, y no una como al principio, es decir, se implementaron los modelos de la sección 2.2.5.

Para realizar las pruebas de los modelos finales, se utilizó una plantilla Excel, la cual tenía como entradas cuatro matrices de dimensión 4, y que a partir de dichas matrices, generaba la función objetivo y restricciones con la sintaxis adecuada para que sean copiadas en el software LINDO, y así fuera obtenida la solución. Se realizaron varias

pruebas usando distintos grupos de matrices, con las cuales se generaban las restricciones y la función objetivo correspondiente a cada métrica, se copiaban a LINDO, se obtenía la solución, y se comparaba con la que se obtenía mediante el modelo implementado en el software. En la tabla 12 se pueden ver los casos de ejemplo que fueron probados usando la métrica  $p=1$ . Los grupos de matrices utilizados en cada caso de prueba se pueden revisar en el Anexo C.

Debido a que los modelos pasaron las pruebas unitarias, solo se verificó la métrica 1 en adaptación a grupos, ya que solo se estaba probando esa parte del modelo, es decir, la adaptación a grupos.

Tabla 12: Comparación de resultados obtenidos por el software con LINDO

Caso de prueba	Solución LINDO	Solución software
1	$\begin{bmatrix} 0.342857 \\ 0.142857 \\ 0.428571 \\ 0.085714 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.3428571428571429 \\ 0.14285714285714285 \\ 0.4285714285714286 \\ 0.08571428571428573 \end{bmatrix}$
2	$\begin{bmatrix} 0.185460 \\ 0.222552 \\ 0.445104 \\ 0.146884 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.18545994065281896 \\ 0.22255192878338279 \\ 0.44510385756676557 \\ 0.14688427299703263 \end{bmatrix}$
3	$\begin{bmatrix} 0.303030 \\ 0.151515 \\ 0.454545 \\ 0.090909 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.30303030303030304 \\ 0.15151515151515152 \\ 0.4545454545454546 \\ 0.09090909090909093 \end{bmatrix}$

En la Tabla 12 se puede apreciar que las preferencias o soluciones obtenidas mediante el producto software son muy similares a las obtenidas mediante el software LINDO. La única diferencia que se aprecia es que las soluciones obtenidas mediante LINDO tienen menos decimales y están aproximadas, lo cual matemáticamente es despreciable. Esto significa que la adaptación a grupos de los modelos implementados funciona correctamente, por lo que la implementación de los modelos de cuantificación de preferencias vistos en la sección 2.2.5 se da por validada y en consecuencia también el requisito que consiste en el cálculo de preferencias globales.

## **5 VALIDACIÓN**

En este capítulo se presentan el desarrollo de pruebas y validaciones del producto software, con el objetivo de verificar el cumplimiento de los requisitos estipulados al principio del proyecto y que se han visto en el presente documento. Las pruebas incluyen la presentación del software a un grupo de expertos en innovación curricular, y el desarrollo de un caso de prueba con alumnos de la carrera de Ingeniería Civil Informática de la Universidad Austral de Chile.

### **5.1 Metodología**

El proceso de validación que se realizó consistió en una presentación del producto software en el Departamento de Aseguramiento de la Calidad e Innovación Curricular (DASIC) de la Universidad Austral de Chile, donde a medida que se presentaba el software, se iban recibiendo preguntas, comentarios y/o sugerencias con respecto al producto software.

Posteriormente se utilizó el producto software para la realización de un caso de prueba. En el caso de prueba participaron alumnos de la carrera de Ingeniería Civil en Informática que acababan de cursar el primer semestre de la carrera, éstos emitieron sus preferencias con respecto a las asignaturas que acababan de cursar, las cuales se utilizaron para calcular la estimación del tiempo que los estudiantes dedicaban a cada asignatura.

Una vez finalizada la participación de los estudiantes en el caso de prueba, se realizó una encuesta de usabilidad, para evaluar aspectos como la reacción general al software, el diseño gráfico, la terminología planteada y las capacidades del sistema, con el fin de identificar cuáles son los aspectos del software a mejorar a futuro en una posible implementación.

### **5.2 Instancia de presentación**

La presentación del software fue realizada el día 28 de Octubre del año 2014, en una reunión organizada por el profesor patrocinante Mauricio Ruiz-Tagle en el Departamento de Aseguramiento de la Calidad e Innovación Curricular (DASIC) de la Universidad Austral de Chile. En primer lugar se realizó una breve presentación del proyecto para contextualizar a los asistentes con la problemática, los cuales

correspondían a gran parte del equipo del DACIC. Luego se realizó una demostración completa del software con todas las funcionalidades desarrolladas, lo que permitió que los asistentes conocieran a cabalidad el producto software y a la vez entendieran cuál era su objetivo. A medida que el software era mostrado, los asistentes realizaban preguntas, comentarios y/o sugerencias con respecto a sus funcionalidades.

En general, el software tuvo una muy buena acogida por parte de los presentes, quienes lo valoraron como un real aporte al aseguramiento de la calidad e innovación curricular. Además manifestaron sus intenciones de que se aplique lo más pronto posible en algunas carreras de la Universidad.

También fueron recibidas algunas sugerencias, las cuales estaban principalmente enfocadas en los resultados, específicamente en el uso que se le puede dar a la estimación del tiempo dedicado por parte de un grupo de alumnos a un conjunto de asignaturas, sugiriendo la inclusión de datos relacionados con el rendimiento académico y socioeconómico de los estudiantes, así como también de su asistencia a clases, para ver si existe una relación entre esas variables y el tiempo que estos le dedican a las asignaturas que cursan.

### **5.3 Caso de prueba**

Se utilizó la plataforma para crear un caso automático llamado “Carga académica primer semestre 2014”, en el cual se asignaron todas las instancias de asignaturas correspondientes al primer semestre académico de la carrera de Ingeniería Civil en Informática de la Universidad Austral de Chile. Al momento de agregar cada instancia de asignatura al caso, implícitamente también se agregaron los alumnos que cursaron dicha instancia, por lo que al crear el caso, los alumnos asignados a éste correspondían a la totalidad de alumnos que cursaron y finalizaron asignaturas correspondientes al primer semestre académico.

Para poder obtener las preferencias globales a partir de las preferencias individuales de los alumnos, éstos deben haber emitido sus preferencias sobre el mismo universo de alternativas, en este caso, asignaturas. La plataforma solo considera los grupos de estudiantes que hayan cursado como mínimo  $n-1$  asignaturas, siendo  $n$  el total de asignaturas del semestre.

### **5.3.1 Participación**

El total de alumnos que cumplía con los requisitos de haber cursado al menos n-1 asignaturas fue de sesenta alumnos, los cuales se encontraban distribuidos en los cursos de INFO013 e INFO023. La participación de los alumnos en la plataforma se llevó a cabo en dos instancias, una en cada curso respectivamente, al principio de la clase correspondiente.

Cada alumno participó utilizando su propia cuenta de usuario, ya que al momento en que se creó el caso, éstos recibieron una notificación por correo, que incluía un link a la plataforma, y su contraseña para que puedan ingresar.

Antes de que los alumnos comenzaran a responder el caso, se realizó una pequeña presentación a modo de introducción, en donde se les contó de qué se trataba el proyecto y cuál era el objetivo de su participación. Posteriormente se les dieron algunas instrucciones, tales como instrucciones de acceso y una breve explicación de los componentes de la interfaz.

Los alumnos tardaron, en promedio, diez minutos en manifestar sus preferencias sobre el conjunto de pares de asignaturas, los que oscilaban entre quince y veintiuno. Durante la participación de los alumnos, ninguno solicitó información adicional sobre el uso de la plataforma.

### **5.3.2 Resultados y discusión**

Cuando se creó el caso, se formaron seis grupos de alumnos, en base a las asignaturas que cursaron y finalizaron el primer semestre académico. En esta sección, se revisarán los resultados correspondientes al grupo por defecto, que corresponde al de los alumnos que cursaron y finalizaron la totalidad de asignaturas del primer semestre, es decir Comunicación: Idioma Español (BAIN009), Geometría para Ingeniería (BAIN012), Algebra para Ingeniería (BAIN017), Química para Ingeniería (BAIN019), Educación Física y Salud (DYRE060), Introducción a la programación (INFO013) y Taller de Ingeniería I (INFO015). Los datos correspondientes a los demás grupos se pueden ver en el Anexo D.

De los sesenta alumnos que cumplían con los requisitos para participar del caso, treinta y dos manifestaron sus preferencias, y dentro de los cincuenta alumnos que forman el grupo por defecto, veinte y ocho manifestaron sus preferencias en el caso. En la Figura 50 se puede apreciar el progreso de la participación de los alumnos pertenecientes al grupo por defecto en la plataforma.



Figura 50: Progreso de alumnos grupo 1 en el caso de prueba<sup>40</sup>

Debido a que la plataforma permite varias configuraciones para calcular las preferencias globales en un determinado caso, para fines de este documento se ha utilizado la métrica 1, el filtro de matrices completas, y el filtro de inconsistencia en un 10 por ciento, además se activó la vista que permite comparar los resultados en base a las tres métricas. En la Figura 51 se muestran los gráficos de distribución de tiempo por parte de los estudiantes estimada a partir de sus preferencias que despliega la plataforma.

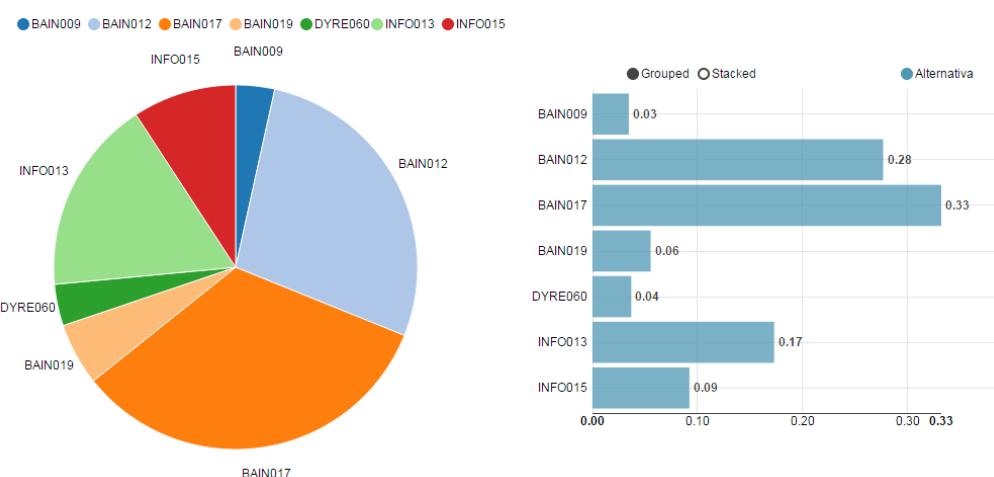


Figura 51: Gráficos de preferencias globales de los alumnos del grupo 1<sup>41</sup>

<sup>40</sup> Progreso de participación de los alumnos mostrado por la plataforma web.

Los gráficos de la figura 51 corresponden a las preferencias de 10 alumnos, cuyas preferencias pasaron el filtro de matrices completas y el filtro de inconsistencia del diez por ciento. En base a los gráficos se puede ver claramente la predominancia de BAIN012 y BAIN017 en la distribución del tiempo, que corresponden a las asignaturas de Algebra y Geometría, respectivamente.

En la Figura 52 se pueden ver las preferencias globales para todas las métricas, las cuales han sido organizadas en la Tabla 13.

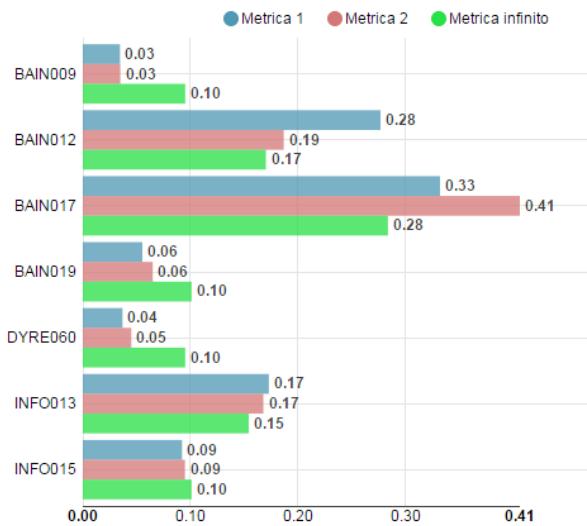


Figura 52: Comparación de preferencias globales en base a distintas métricas  $l^p$ <sup>42</sup>

Tabla 13: Resumen de comparación de métricas globales en base a distintas métricas  $l^p$

Preferencias globales por asignatura		Métrica de solución		
		P=1	P=2	P= $\infty$
	<b>BAIN009</b>	0.03	0.03	0.1
	<b>BAIN012</b>	0.28	0.19	0.17
	<b>BAIN017</b>	0.33	0.41	0.28
	<b>BAIN019</b>	0.06	0.06	0.1
	<b>DYRE060</b>	0.04	0.05	0.1
	<b>INFO013</b>	0.17	0.17	0.15
	<b>INFO015</b>	0.09	0.09	0.1

De la Tabla 13 se puede apreciar que los resultados obtenidos por la plataforma en el caso de prueba, coinciden con la realidad, ya que en todas las métricas, las asignaturas que obtuvieron mayor porcentaje, es decir, mayor dedicación de tiempo, fueron las de Algebra y Geometría. Esto es corroborado por los mismos estudiantes y docentes, ya que los estudiantes admiten que esas son las asignaturas que les demandan más tiempo, y a su vez, los profesores ven cómo los estudiantes les dedican más tiempo a esas asignaturas en comparación a otras. Utilizando los datos de la Tabla 14, la cual muestra

<sup>41</sup> Gráficos de preferencias globales de los alumnos mostrados por la plataforma web.

<sup>42</sup> Gráfico de comparación de preferencias globales mostrado por la plataforma web.

los datos académicos del semestre correspondiente al caso de prueba, se detecta una relación entre las asignaturas que presentan más horas dedicadas por los alumnos con las asignaturas que tienen una menor tasa de aprobación, ya que las asignaturas que tienen mayor cantidad de horas dedicadas según la Tabla 13 son Algebra, Geometría e Introducción a la Programación, las cuales tienen las menores tasas de aprobación, con un 21,74%, 26,83% y 48,53% respectivamente. A su vez, las asignaturas que tienen menor tiempo de dedicación por parte de los alumnos, tienen las mayores tasas de aprobación, como son Comunicación y Educación Física, con una tasa de aprobación del 95,08% y 82,54% respectivamente. Esta relación va en apoyo a la validación de la plataforma, ya que es natural pensar que los alumnos le dediquen más tiempo a las asignaturas que ellos perciben como más difíciles, y de la misma manera, menos tiempo a las que consideran más fáciles.

Tabla 14: Datos académicos Semestre I de la malla curricular, 2014<sup>43</sup>.

Código Asignatura	Estudiantes Inscritos	Estudiantes Aprobados	Estudiantes Reprobados	Tasa aprobación	Tasa reprobación
<b>BAIN009</b>	61	58	3	95,08	4,92
<b>BAIN012</b>	82	22	60	26,83	73,17
<b>BAIN017</b>	69	15	54	21,74	78,26
<b>BAIN019</b>	67	34	33	50,75	49,25
<b>DYRE060</b>	64	57	7	89,06	10,94
<b>INFO013</b>	68	33	35	48,53	51,47
<b>INFO015</b>	63	52	11	82,54	17,46

En la Figura 53 se aprecia otro de los gráficos desplegados por la plataforma, el cual muestra la comparación de las horas dedicadas a las asignaturas, por los alumnos pertenecientes al grupo por defecto, en base a la estimación de la distribución de su tiempo (preferencias globales) obtenidas mediante la métrica  $p=1$ , con las horas propuestas para cada asignatura por programa, considerando horas presenciales prácticas, presenciales teóricas, y no presenciales. Para obtener la estimación de las horas dedicadas en las distintas asignaturas, se utilizó como base la suma de todas las horas contempladas para cada asignatura en el programa de ésta y se multiplicó por el porcentaje obtenido para la asignatura en las preferencias globales.

---

<sup>43</sup> Datos proporcionados por la Escuela de Ingeniería Civil en Informática.

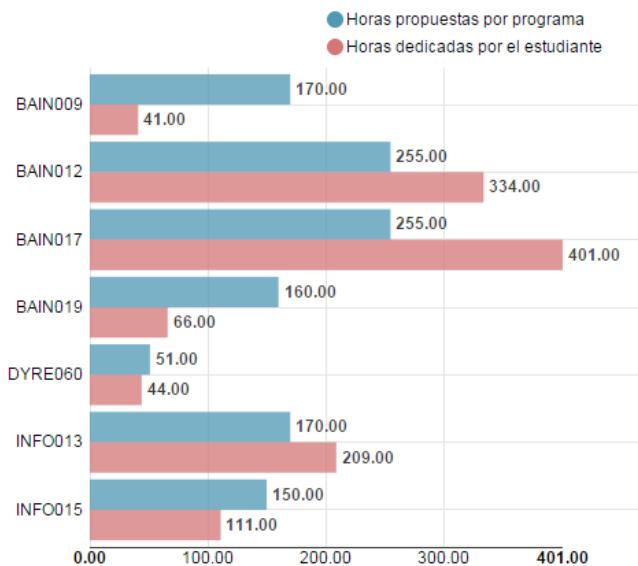


Figura 53: Comparación de horas dedicadas por los alumnos con horas propuestas por programa<sup>44</sup>.

En la Figura 53, se puede apreciar que el tiempo que dedican los alumnos del grupo a las asignaturas del semestre es distinto al recomendado por los programas, éste es mayor al propuesto en las asignaturas de Algebra, Geometría e Introducción a la programación, y es menor en Comunicación, Educación física y salud, Química y Taller de Ingeniería I.

Utilizando los datos de la Figura 53, se calculó para cada asignatura la razón entre el tiempo dedicado por los estudiantes y el tiempo propuesto por programa, y se relacionó con la tasa de aprobación de cada asignatura. En la Tabla 15 se muestra un resumen de los datos de la relación y en la Figura 54 se muestra el gráfico obtenido a partir de la información de la tabla.

Tabla 15: Resumen relación entre razón de tiempo en una asignatura y su tasa de aprobación.

Código Asignatura	Horas dedicadas	Horas declaradas	Razón de tiempo	Tasa aprobación
<b>BAIN009</b>	41	170	0,24	95,08
<b>BAIN012</b>	334	255	1,31	26,83
<b>BAIN017</b>	401	255	1,57	21,74
<b>BAIN019</b>	66	160	0,41	50,75
<b>DYRE060</b>	44	51	0,86	89,06
<b>INFO013</b>	209	170	1,23	48,53
<b>INFO015</b>	111	150	0,74	82,54

<sup>44</sup> Gráfico de comparación de horas dedicadas con horas propuestas mostrado por la plataforma web.



Figura 54: Relación entre razón de tiempo en una asignatura y su tasa de aprobación<sup>45</sup>.

En el gráfico de la Figura 54, se aprecian zonas que están coloreadas de verde y rojo. De manera aproximada, la zona de color verde indica la relación esperable entre la razón de tiempo y el porcentaje de aprobación. Se podría pensar que cuando la razón es cercana a uno, es decir, el tiempo dedicado a una asignatura es similar al tiempo declarado para ésta, el porcentaje de aprobación de la asignatura debería ser igual o superior al 80%, y a su vez si la razón es menor, la tasa de aprobación debería ser menor, esto se puede ver en las asignaturas de Química, Educación física y Taller de Ingeniería I, en donde la de aprobación de dichas asignaturas se parece bastante a la razón de tiempo. Sin embargo, esto no siempre es así, y se puede apreciar en las zonas de color rojo. El triángulo superior muestra de manera aproximada la situación en que las asignaturas tienen una alta tasa de aprobación a pesar de que la razón de tiempo es baja, es decir, cuando el tiempo dedicado por los alumnos a la asignatura es mucho menor al declarado. Esto se puede ver en la asignatura de Comunicación, la cual tiene una razón de tiempo bastante baja y una tasa de aprobación alta. El triángulo inferior muestra de manera aproximada la situación en que las asignaturas tienen una baja tasa de aprobación a pesar de que la razón de tiempo es alta, es decir, cuando el tiempo dedicado por los alumnos a la asignatura es mucho mayor al declarado en el programa. Esto se puede ver en las asignaturas de Algebra, Geometría e Introducción a la programación, en donde a pesar de que los alumnos le dedican más tiempo del declarado en el programa a las asignaturas, la tasa de aprobación es baja.

---

<sup>45</sup> Gráfico de relación entre la razón de tiempo de una asignatura y su tasa de aprobación.

En base a lo anterior, se podría concluir que las asignaturas que se encuentra en el triángulo superior, están sobrevaloradas por los programas, ya que a pesar de que los alumnos le dedican menos tiempo del que el programa declara, un gran porcentaje de alumnos las aprueba, y las asignaturas que se encuentra en el triángulo inferior están subvaloradas, ya que a pesar de que los alumnos les dedican más tiene del que está declarado en el programa, un porcentaje de alumnos muy bajo las aprueba.

Luego de revisar los resultados y distintos gráficos desplegados por la plataforma, se da por conseguido el objetivo de obtener una distribución de tiempo representativa para las asignaturas del primer semestre académico en el caso de prueba.

#### **5.4 Validación de usabilidad**

La usabilidad del sistema fue evaluada a través de una encuesta. Esta encuesta fue respondida por 23 alumnos, los cuales corresponden a alumnos que participaron en el caso de prueba y que respondieron la encuesta días después de haber utilizado la plataforma, entregando retroalimentación de información en base a su experiencia como usuarios para posteriores mejoras en la implementación de ésta.

La encuesta aplicada consta de un total de 22 preguntas más un campo de comentarios para que los alumnos puedan manifestar alguna opinión que no haya sido considerada en las preguntas. Las preguntas fueron respondidas a través de una escala de Likert de aprobación con 5 niveles que están comprendidos entre dos conceptos que funcionan como extremo de cada respuesta. Se optó por utilizar dicha escala debido a que las evaluaciones docentes de la Universidad Austral de Chile utilizan una escala similar, por lo que se buscó algo que les fuera familiar a los alumnos. Las preguntas se basan en el formulario QUIS (Questionnaire for User Interface Satisfaction) [Tul04], que busca evaluar aspectos como la reacción general de los usuarios al usar el software, la organización de la información en la pantalla, el aprendizaje de los usuarios y el rendimiento del software.

La distribución de la encuesta se realizó utilizando la funcionalidad de la plataforma que permite notificar a los alumnos, por lo que se les envió el link al formulario con la encuesta. Para la creación del formulario se utilizó la herramienta que provee Google, Google Drive, la cual además genera un informe con las respuestas, las que pueden ser

revisadas y utilizadas para la creación de estadísticas. El informe completo con las respuestas puede ser revisado en el Anexo E.

A continuación se presentan las Figuras 55, 56, 57, 58 y 59, que corresponden a los gráficos que resumen los resultados de cada sección de la encuesta, en los cuales para cada pregunta se puede ver el porcentaje de alumnos que la evaluó con un puntaje muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo.

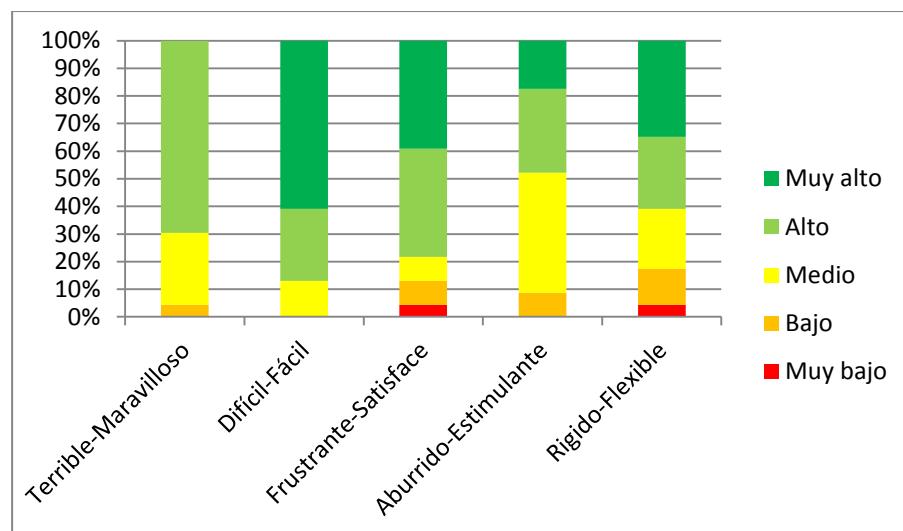


Figura 55: Resumen reacción general del software

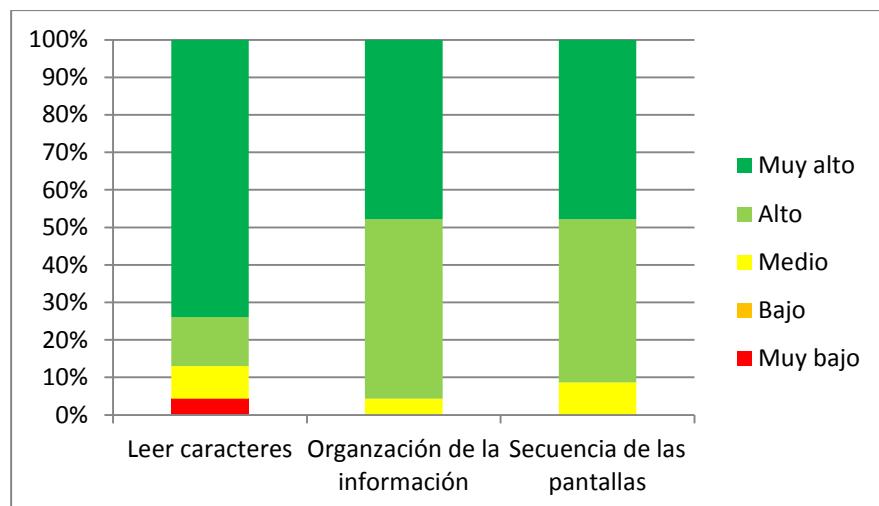


Figura 56: Resumen de la vista web

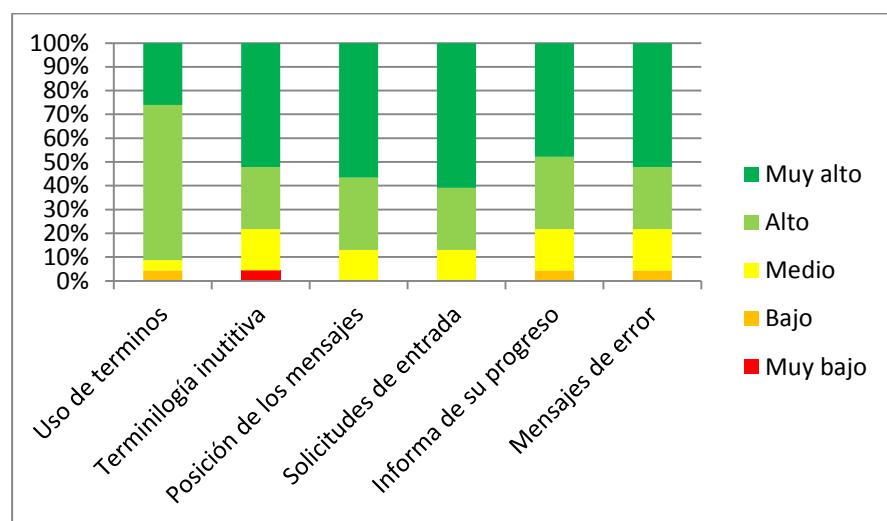


Figura 57: Resumen de la terminología

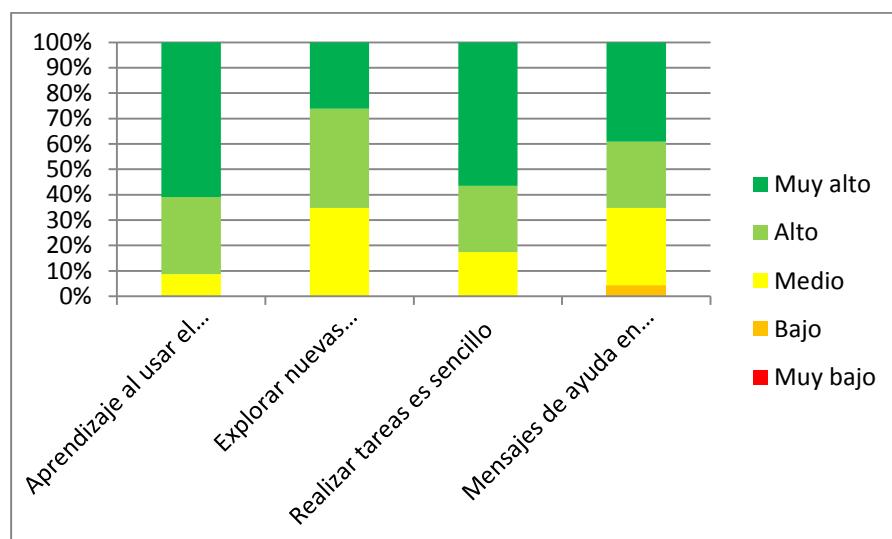


Figura 58: Resumen del aprendizaje

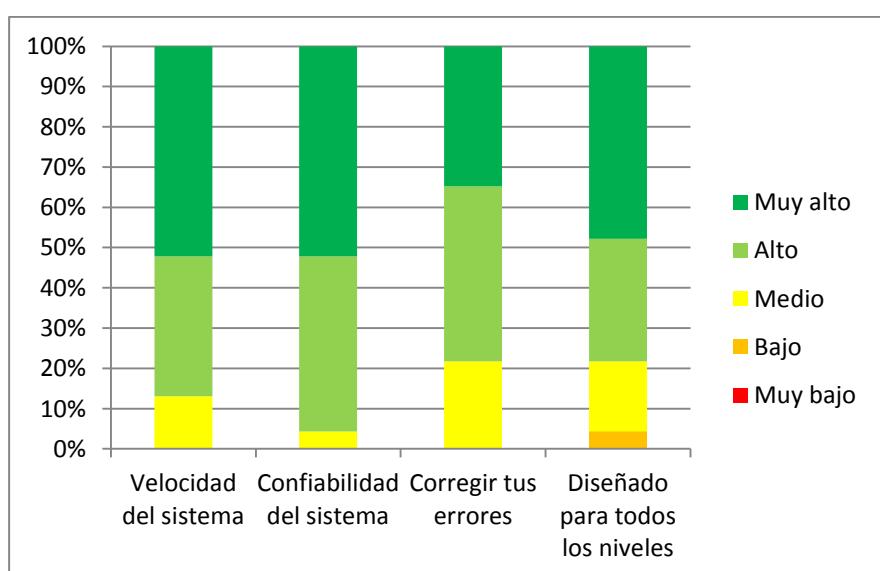


Figura 59: Resumen de las capacidades del sistema

La evaluación muestra que en la sección de reacción general del software algunas personas manifestaron que éste era frustrante, aburrido y rígido, pero éstas eran reacciones esperables, ya que para algunas personas no resulta grato responder encuestas relacionadas con el ámbito académico.

A pesar de lo anterior se puede observar de manera general que existe un alto grado de satisfacción por parte de los alumnos que participaron en el caso de prueba como usuarios de la plataforma.

## **6 CONCLUSIONES**

En el contexto de la educación superior y del cambio de paradigma en el modelo educativo que busca implementar la universidad, esto es, pasar de un modelo centrado en la enseñanza (profesor) a uno centrado en el aprendizaje (estudiante), es importante la retroalimentación de información por parte de los alumnos hacia los docentes y distintos profesionales que forman parte de la universidad, y que están a cargo de dicho proceso de transición, para que éstos puedan tener una visión general de la situación estudiantil y verificar de alguna forma que las medidas que se están tomando para llevar a cabo el modelo educativo están dando los resultados esperados.

El enfoque curricular alineado con el modelo educativo actual, promueve una estructura de formación que se centra en el aprendizaje del estudiante, a través del desarrollo de competencias, con énfasis en el diseño modular.

El concepto de diseño curricular basado en competencias reconceptualiza al clásico plan de estudios, en donde se enuncia la finalidad de la formación en términos de asignaturas, a través de un ordenamiento temporal, integrando y articulando distintas áreas de formación desde una lógica sistemática, constructivista y compleja. Para programar una unidad de aprendizaje que posteriormente junto a otras formarán una asignatura, se hace necesario definir horas presenciales teóricas, horas presenciales prácticas y horas no presenciales, entre otras cosas. Para el buen funcionamiento del enfoque curricular y por consecuencia también del modelo educativo, es importante que los alumnos cumplan las horas que se han estipulado para cada asignatura, sin embargo, actualmente no existen herramientas de ningún tipo para saber si estas efectivamente se cumplen. Solo se conoce por medio de la asistencia de los alumnos a clases, si éstos cumplen con las horas presenciales de la asignatura, sin embargo, esto tampoco asegura que efectivamente se estén cumpliendo, ya que en muchos casos, los alumnos van a clases de una asignatura, pero están realizando tareas correspondientes a otra.

El presente proyecto propone relacionar métodos de cuantificación de preferencias con la teoría informática para la creación de una herramienta que apoye la validación de las horas estipuladas para cada asignatura, permitiendo que los estudiantes manifiesten sus preferencias por cada una, lo cual se traduce en la percepción que tiene el estudiante con respecto al tiempo que le dedica a una asignatura con respecto a otra, y que

posteriormente permite obtener la distribución del tiempo de un grupo de estudiantes en un semestre determinado.

Por medio de la plataforma se podría contar con datos cuantificables con respecto a cómo los estudiantes perciben la distribución de su tiempo en las distintas asignaturas que cursan. Si bien estos datos no dejan de ser una estimación, son un primer acercamiento a la realidad, que puede servir como diagnóstico de ésta, y a la vez como objeto de análisis, ya que por medio de los gráficos que muestra la plataforma, se pueden identificar rápidamente cuales son las asignaturas que los estudiantes sienten como más demandantes, y también si el tiempo que le dedican a cada asignatura se acerca al tiempo que está estipulado en el programa de ésta. De esta manera, usando la información entregada por la plataforma, se puede verificar que se está cumpliendo una de las bases del enfoque curricular de la universidad, por medio del cual se busca el correcto desempeño del modelo educativo basado en el estudiante.

La información entregada por la plataforma constituye un aporte directo al aseguramiento de la calidad e innovación curricular, y demuestra que se hace necesaria la creación de más herramientas que vayan en apoyo de éste y otros aspectos de la educación superior. Las tecnologías de la información tienen un gran potencial que radica en su capacidad de capturar, desarrollar, procesar y visualizar información, lo que hace posible la automatización de muchos procesos que actualmente se realizan de manera manual y la implementación de muchos otros que ni siquiera se realizan. Además la información que se obtiene y posteriormente se visualiza, se puede analizar de manera colaborativa sin necesidad de que los interesados estén físicamente presentes, debido a que las herramientas están basadas en web.

La plataforma desarrollada no solo permite obtener estimaciones de las horas dedicadas por parte de los alumnos a las asignaturas de un determinado semestre, sino que también permite que se les haga cualquier pregunta que permita comparar un determinado conjunto de alternativas, lo cual aumenta bastante la cantidad de información que se puede obtener a partir de ésta. Se podría utilizar para saber cuáles son las asignaturas más atractivas para los estudiantes, saber qué países les resultan más atractivos para realizar un postgrado, también como una evaluación docente alternativa, o para saber cuál es la especialidad que más les interesa a los estudiantes de plan común, como por ejemplo el de Ingeniería. Incluso se podía extender su uso a estudiantes de enseñanza

media y hacer un sondeo de cuáles son las carreras más atractivas para ellos mucho antes de que postulen a éstas, lo cual sería provechoso al momento de ver en qué áreas deben trabajar más, o también provechoso para la Universidad, ya esta podría concentrar de mejor manera sus actividades de difusión. Las aplicaciones de la plataforma son diversas y a la vez transversales, ya que la toma de decisiones se da en todas las áreas del conocimiento, y en muchas situaciones de la vida cotidiana.

En relación a trabajos futuros, existen dos ramas por las cuales se puede continuar el desarrollo de la plataforma. La primera es generar otros mecanismos que permitan que los estudiantes emitan sus preferencias, lo cual se podría lograr construyendo otras interfaces, tal vez más novedosas, flexibles, coloridas, etc, que podrían ser aún más cómodas para los estudiantes. La segunda, consiste en el trabajo que se hace con la información obtenida a partir de los estudiantes, ya que de momento solo se está visualizando la información obtenida a partir de las preferencias globales y de las asignaturas usadas en cada encuesta, pero esta información no se está relacionando con ninguna otra. Si se agregara a la plataforma más información de los alumnos, como por ejemplo, sus datos socioeconómicos, académicos o más datos de las asignaturas como los docentes que las imparten, se podría usar esta información para ver si existe alguna relación entre esas variables, como por ejemplo, si existe alguna relación entre el tiempo dedicado a una asignatura y el rendimiento académico del estudiante, o si existe relación entre el colegio de procedencia del alumno con el tiempo que éste dedica a sus ramos, y de esa manera, identificar distintos perfiles de estudiante. También se podrían relacionar los resultados de la evaluación docente de un profesor y el tiempo que le dedican los alumnos a las asignaturas que éste imparte.

Además, si la plataforma se usa de manera prolongada en el tiempo, se puede tener el registro de distintas generaciones con respecto al mismo semestre, lo que permitiría ver la evolución de los estudiantes con respecto al tiempo que éstos le dedican a las asignaturas.

## 7 REFERENCIAS

[AHS] Apache HTTP Server Project. Disponible en <http://httpd.apache.org/>. Consultado en Septiembre de 2014.

[Boe07] Boegeholz Renato (2007). Tesis de titulación: Plataforma web de apoyo a la toma de decisiones de grupo basadas en preferencias imprecisas.

[Boo] About Bootstrap. Bootstrap. Disponible en <http://getbootstrap.com/about/>. Consultado en Septiembre de 2014.

[Cen] About CentOS. CentOS. Disponible en <http://www.centos.org/about/>. Consultado en Septiembre de 2014.

[Dat] Data driven document. D3 Js library. Disponible en <http://d3js.org/>. Consultado en Agosto de 2014

[Dop02] Dopazo Ester, González-Pachón Jacinto (2002). Consistency-driven approximation of a pairwise comparison matrix.

[Exp] Expert Choice, Comparion Help, Disponible en: [http://trial.expertchoice.com/DocMedia/Help\\_Silverlight/Comparion.html#Release\\_Notes/Comparion\\_5.11.1.0.html](http://trial.expertchoice.com/DocMedia/Help_Silverlight/Comparion.html#Release_Notes/Comparion_5.11.1.0.html). Consultado en Agosto de 2014.

[Fla] Flask. Flask, web development, one drop at time. Disponible en <http://flask.pocoo.org/docs/0.10/>. Consultado en Octubre de 2014.

[Hip] HIPRE 3+ Software Family, Helsinski University of Technology. Disponible en: <http://sal.aalto.fi/en/resources/downloadables/hipre3> Consultado en Agosto de 2014.

[Hipb] Systems Analysis Laboratory, Web-HIPRE, Helsinski University of Technology. Disponible en: <http://www.hipre.hut.fi> Consultado en Agosto de 2014.

[Jqua] jQuery. jQuery write less, do more. Disponible en <http://jquery.com/>. Consultado en Agosto de 2014.

[Jqub] jQuery. jQuery user interface. Disponible en <http://jquery.com/>. Consultado en Agosto de 2014.

[Mysa] Mysql. Disponible en <http://www.mysql.com/about/>. Consultado en Octubre de 2014

[Mysb] Mysql Workbench. Disponible en <http://www.mysql.com/products/workbench/>. Consultado en Octubre de 2014.

[Num] Numpy. Disponible en <http://www.numpy.org/> . Consultado en Septiembre 2014.

[Nvd] NVD3, Re-usable charts for d3.js. Disponible en <http://nvd3.org/index.html>. Consultado en Agosto de 2014

[Pyta] Python. Disponible en <https://www.python.org/about/> . Consultado en Septiembre de 2014.

[Pytb] Python-Zibopt. Disponible en <http://code.google.com/p/python-zibopt/> . Consultado en Septiembre de 2014.

[Qui13] Quick Start Guide For Comparion(2013). Disponible en:  
[http://images.expertchoice.com/wp-content/uploads/ExpEng/xres/uploads/resource-center-documents/Comparion\\_Core\\_Getting\\_Started\\_Guide.pdf](http://images.expertchoice.com/wp-content/uploads/ExpEng/xres/uploads/resource-center-documents/Comparion_Core_Getting_Started_Guide.pdf)  
Consultado en Agosto de 2014

[Saa90] Saaty T.L (1990), How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process European Journal of Operational Research, 48:9-26

[Saa10] Saaty Thomas (2010). Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process.

[Sci] Scip, Solving Constraint Integer Programs. Disponible en <http://scip.zib.de/>. Consultado en Septiembre de 2014.

[Som05] Sommerville Ian (2005). Ingeniería del Software, Séptima edición.

[Ted] Tedeschi Nicolas, ¿Qué es un Patrón de Diseño?. Disponible en <http://msdn.microsoft.com/es-es/library/bb972240.aspx> . Consultado en Octubre de 2014.

[Tul04] Tullis Thomas S., Stetson Jacqueline N. (2004). A comparison of Questionnaires for Assessing Website Usability, Boston, New York.

## 8 ANEXOS

### Anexo A: Transformación de valores obtenidos del usuario a la escala de Saaty

Para crear la interfaz que permite que los usuarios puedan manifestar sus preferencias por una alternativa sobre otra, se utilizaron sliders. Los valores que los sliders pueden tomar son discretos, con un paso de 6,25%, y van desde 0% a 100%. Cuando una comparación no ha sido realizada, ambos sliders aparecen con un valor por defecto del 50%, por lo que entre ambos suman 100%. Esta condición siempre se debe cumplir, es decir, los valores de ambos sliders siempre suman 100%, por lo que si un usuario modifica uno de los sliders, el otro también modifica su valor, de manera que se cumpla la condición.

Los sliders se acompañan de un círculo, similar a un gráfico de torta, que muestra cómo se distribuyen las preferencias por cada alternativa. En la Figura 60, se puede apreciar la interfaz correspondiente a una comparación que aún no ha sido realizada. En la imagen se ve que los sliders y el círculo aparecen de color gris, lo cual representa que el usuario no ha interactuado con dicha comparación.

¿Que ciudad preferiría para ir a pasar sus vacaciones?. Utilice los criterios que usted estime conveniente.

Valdivia

Santiago

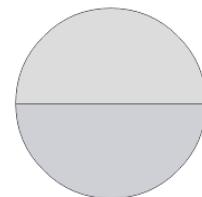


Figura 60: Comparación no respondida<sup>46</sup>.

Cuando el usuario interactúa con la comparación de alternativas, los sliders y el círculo cambian de color. En la Figura 61, se ve la interfaz correspondiente a una comparación que ya fue realizada. Si el usuario no desea manifestar sus preferencias en una comparación, éste debe dejar la interfaz en sus valores por defecto, es decir, los sliders y el círculo en color gris, por lo que si éste ya interactuó con la interfaz, puede hacer clic en el botón restablecer para que los elementos vuelvan a la normalidad.

---

<sup>46</sup> Interfaz de comparación no respondida mostrada por la plataforma web.

¿Que ciudad preferiría para ir a pasar sus vacaciones?. Utilice los criterios que usted estime conveniente.

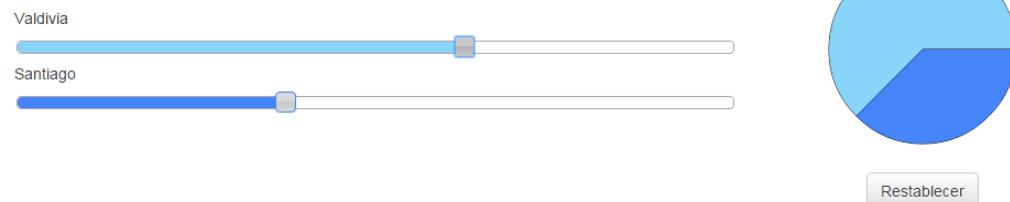


Figura 61: Comparación respondida<sup>47</sup>

Cuando un usuario desea enviar sus preferencias en un determinado caso, el sistema debe formar la matriz de comparación por pares del usuario, el sistema obtiene los valores porcentuales asignados a los pares de alternativas en cada comparación, y los transforma a su valor equivalente en la escala de Saaty. Como se comentó en un principio, los valores porcentuales que pueden adoptar los sliders son discretos, con un paso de 6,25%, esto da como resultado 17 valores posibles, los cuales se condicen con los 17 valores de la escala de Saaty. La equivalencia de valores se puede ver en la Tabla 16. Cabe destacar que solo es necesario utilizar el valor asignado a una alternativa en cada comparación, ya que al llenar la matriz de comparación por pares, el valor que representa la intensidad de preferencia de la alternativa j sobre la alternativa i, es el reciproco del valor que representa la intensidad de la alternativa i sobre la alternativa j.

Tabla 16: Equivalencia entre valores porcentuales y Escala de Saaty

Orden	Porcentaje	Escala de saaty
0	0,00%	1/9
1	6,25%	1/8
2	12,50%	1/7
3	18,75%	1/6
4	25,00%	1/5
5	31,25%	1/4
6	37,50%	1/3
7	43,75%	1/2
8	50,00%	1
9	56,25%	2
10	62,50%	3
11	68,75%	4
12	75,00%	5
13	81,25%	6
14	87,50%	7
15	93,75%	8
16	100,00%	9

<sup>47</sup> Interfaz de comparación respondida mostrada por la plataforma web.

## Anexo B: Diagrama de secuencia caso de uso “Ver resultados”

A continuación, en la Figura 62, se presenta el diagrama de secuencia completo, correspondiente al caso de uso “Ver resultados”.

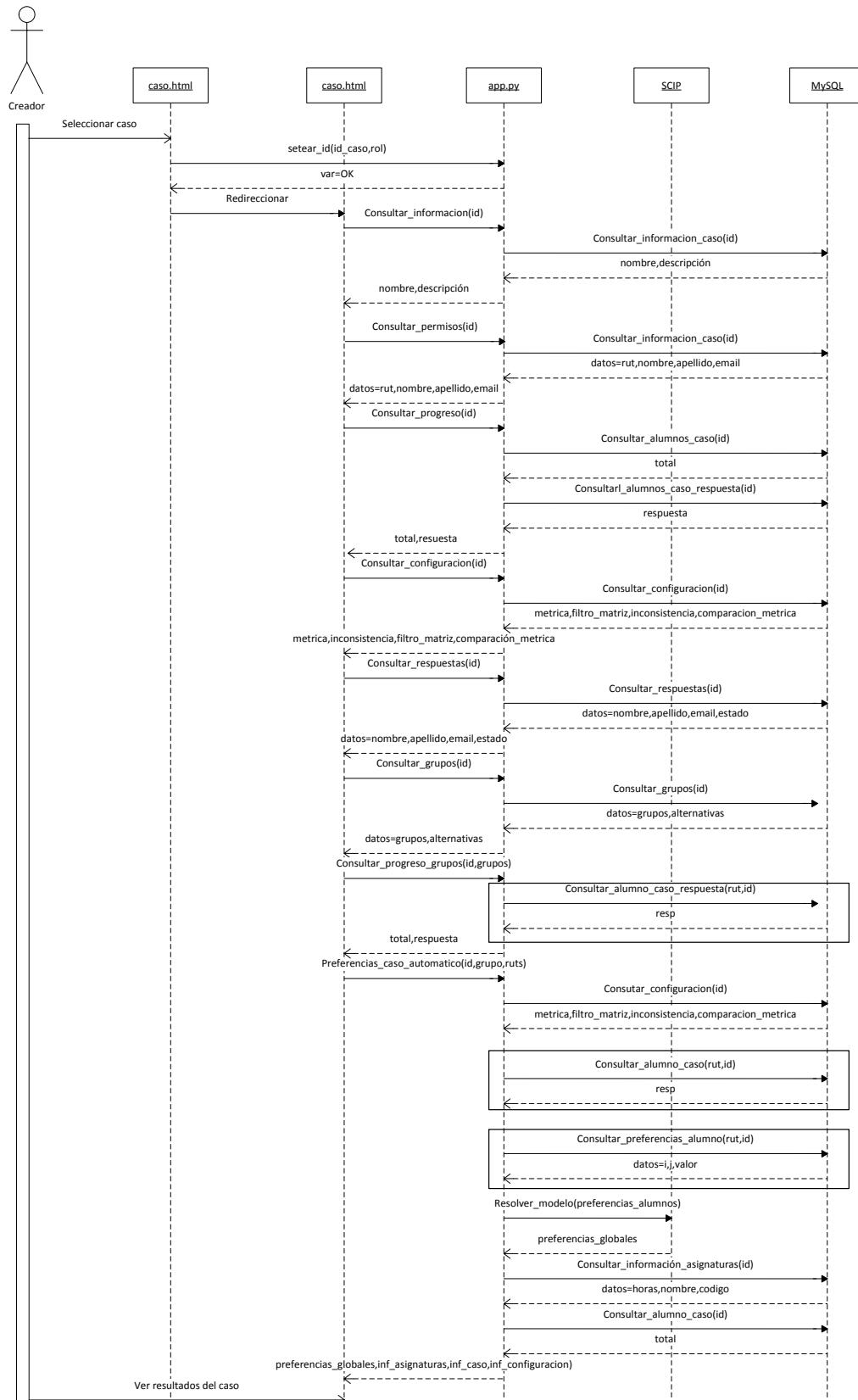


Figura 62: Diagrama de secuencia completo caso de uso “Ver resultados”

## Anexo C: Matrices utilizadas en validación del modelo matemático

En la Figura 63 se presenta la matriz utilizada para validar el modelo matemático de cuantificación de preferencias implementado, para las distintas métricas  $lp$ .

$$M = \begin{pmatrix} 1.20 & 2.00 & 0.50 & 3.00 \\ 0.40 & 0.90 & 0.25 & 1.50 \\ 1.50 & 3.00 & 1.00 & 5.00 \\ 0.25 & 0.50 & 0.33 & 1.10 \end{pmatrix}$$

Figura 63: Matriz de prueba [Dop02]

En la Tabla 17 se presentan las matrices que se utilizaron en los tres casos de prueba, que permitieron la validación del modelo matemático de cuantificación de preferencias adaptado a un grupo de expertos implementando para la métrica  $p = 1$ .

Tabla 17: Matrices utilizadas en la validación del modelo adaptado a un grupo de expertos.

Caso 1			
$\begin{bmatrix} 9.0 & 9.0 & 9.0 & 9.9 \\ 0.4 & 0.9 & 0.25 & 1.5 \\ 1.5 & 3.0 & 1.0 & 5.0 \\ 0.25 & 0.5 & 0.33 & 1.1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 9.0 & 9.0 & 9.0 & 9.0 \\ 0.4 & 0.9 & 0.25 & 1.5 \\ 1.5 & 3.0 & 1.0 & 5.0 \\ 7.0 & 7.0 & 7.0 & 7.0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.2 & 2.0 & 0.5 & 3.0 \\ 0.4 & 0.9 & 0.25 & 1.5 \\ 1.5 & 3.0 & 1.0 & 5.0 \\ 0.25 & 0.5 & 0.33 & 1.1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 5.0 & 5.0 & 5.0 & 5.0 \\ 2.0 & 2.0 & 2.0 & 2.0 \\ 1.5 & 3.0 & 1.0 & 5.0 \\ 5.0 & 5.0 & 5.0 & 5.0 \end{bmatrix}$
<b>Caso 2</b>			
$\begin{bmatrix} 1.2 & 2.0 & 0.5 & 3.0 \\ 0.4 & 0.9 & 0.25 & 1.5 \\ 1.5 & 3.0 & 1.0 & 5.0 \\ 0.25 & 0.5 & 0.33 & 1.1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.25 & 0.5 & 0.33 & 1.1 \\ 1.2 & 2.0 & 0.5 & 3.0 \\ 0.4 & 0.9 & 0.25 & 1.5 \\ 1.5 & 3.0 & 1.0 & 5.0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.25 & 0.5 & 0.33 & 1.1 \\ 1.2 & 2.0 & 0.5 & 3.0 \\ 0.4 & 0.9 & 0.25 & 1.5 \\ 1.5 & 3.0 & 1.0 & 5.0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.25 & 0.5 & 0.33 & 1.1 \\ 1.2 & 2.0 & 0.5 & 3.0 \\ 0.4 & 0.9 & 0.25 & 1.5 \\ 1.5 & 3.0 & 1.0 & 5.0 \end{bmatrix}$
<b>Caso 3</b>			
$\begin{bmatrix} 1.2 & 2.0 & 0.5 & 3.0 \\ 0.4 & 0.9 & 0.25 & 1.5 \\ 1.5 & 3.0 & 1.0 & 5.0 \\ 0.25 & 0.5 & 0.33 & 1.1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.2 & 2.0 & 0.5 & 3.0 \\ 0.4 & 0.9 & 0.25 & 1.5 \\ 1.5 & 3.0 & 1.0 & 5.0 \\ 0.25 & 0.5 & 0.33 & 1.1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.2 & 2.0 & 0.5 & 3.0 \\ 0.4 & 0.9 & 0.25 & 1.5 \\ 1.5 & 3.0 & 1.0 & 5.0 \\ 0.25 & 0.5 & 0.33 & 1.1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.2 & 2.0 & 0.5 & 3.0 \\ 0.4 & 0.9 & 0.25 & 1.5 \\ 1.5 & 3.0 & 1.0 & 5.0 \\ 0.25 & 0.5 & 0.33 & 1.1 \end{bmatrix}$

## Anexo D: Resultados caso de prueba

A continuación se presentan los resultados del caso de prueba para los demás grupos de alumnos que se formaron en el caso.

En el caso de prueba, se formaron seis grupos, en base a los alumnos que cursaron las mismas asignaturas en el primer semestre académico. Además del grupo 1, correspondiente al grupo por defecto, es decir, al grupo de los alumnos que cursaron todas las asignaturas del semestre, también recibieron manifestaciones de preferencias los grupos 3, 4 y 5, correspondientes a los alumnos que cursaron todos los ramos menos Geometría para Ingeniería, Algebra para Ingeniería y Química para Ingeniería respectivamente. De los grupos nombrados anteriormente, solo opiniones pertenecientes al grupo 3 pasaron los filtros de matrices completas y de inconsistencia del 10 por ciento fijados para la validación. En la Figura 64 se muestra el progreso de la participación de los estudiantes pertenecientes al grupo 3.



Figura 64: Progreso de alumnos grupo 3 en caso de prueba<sup>48</sup>

De los tres alumnos que forman el grupo 3, dos manifestaron sus preferencias. En la Figura 65 se muestran los gráficos de distribución de tiempo por parte de los estudiantes del grupo 3 a partir de sus preferencias que despliega la plataforma.

<sup>48</sup> Progreso de participación de los alumnos del grupo 3 mostrado por la plataforma web.

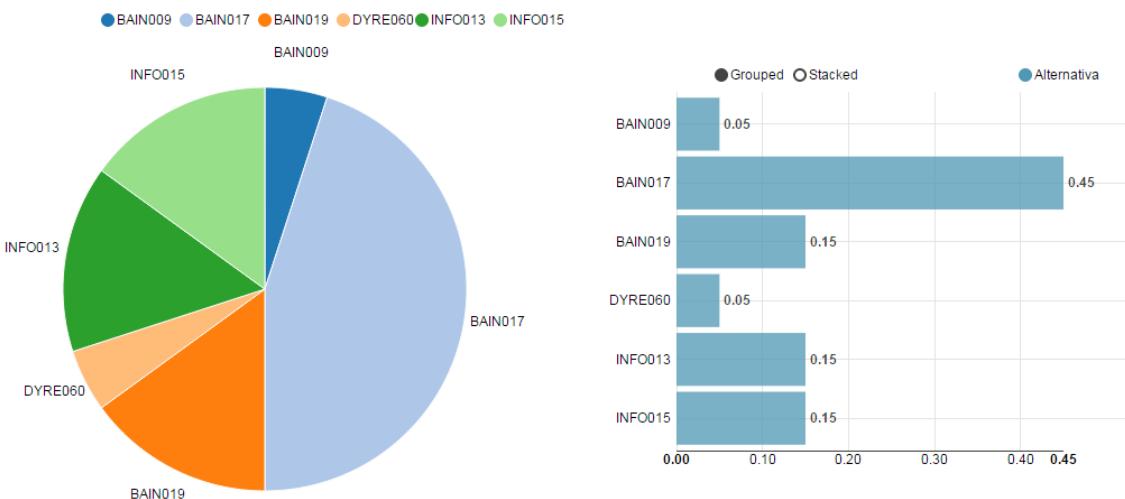


Figura 65: Gráficos de preferencias globales de los alumnos del grupo 3<sup>49</sup>

Los gráficos de la Figura 65 corresponden a las preferencias de un alumno, ya que solo las preferencias de éste pasaron el filtro de matrices completas y el filtro de inconsistencia del 10 por ciento. En base a los gráficos se puede ver claramente la predominancia de BAIN017 en la distribución del tiempo, que corresponde a la asignatura de Geometría para Ingeniería.

En la Figura 66 se pueden ver las preferencias globales para todas las métricas, las cuales han sido organizadas en la Tabla 18.

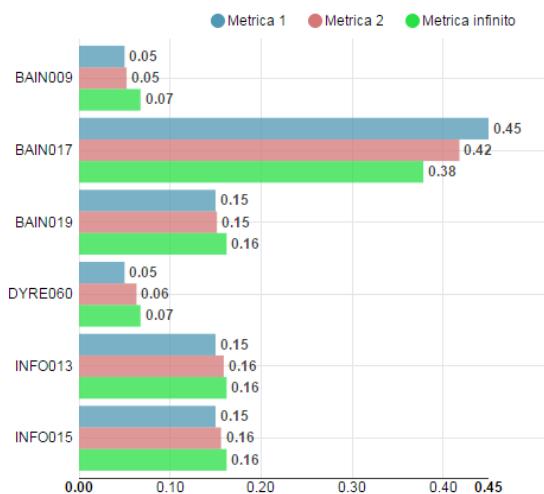


Figura 66: Comparación de preferencias globales en base a distintas métricas lp para grupo 3<sup>50</sup>

<sup>49</sup> Gráficos de preferencias globales de los alumnos del grupo 3 mostrados por la plataforma web.

<sup>50</sup> Gráfico de comparación de preferencias globales del grupo 3 mostrado por la plataforma web.

Tabla 18: Resumen de métricas globales en base a distintas métricas  $l_p$  para grupo 3.

		Métrica de solución		
		P=1	P=2	P= $\infty$
Preferencias globales por asignatura	<b>BAIN009</b>	0.05	0.05	0.07
	<b>BAIN017</b>	0.45	0.42	0.38
	<b>BAIN019</b>	0.15	0.15	0.16
	<b>DYRE060</b>	0.05	0.06	0.07
	<b>INFO013</b>	0.15	0.16	0.16
	<b>INFO015</b>	0.15	0.16	0.16

De la Tabla 18 se puede apreciar que en todas las métricas, la asignatura que obtuvo mayor porcentaje, es decir, mayor dedicación de tiempo, fue la de Geometría.

En la Figura 67 se aprecia el gráfico que muestra la comparación de las horas dedicadas a las asignaturas, en base a la estimación de la distribución de tiempo (preferencias globales) obtenidas mediante la métrica  $p=1$ , con las horas propuestas para cada asignatura por programa, considerando horas presenciales prácticas, presenciales teóricas, y no presenciales.

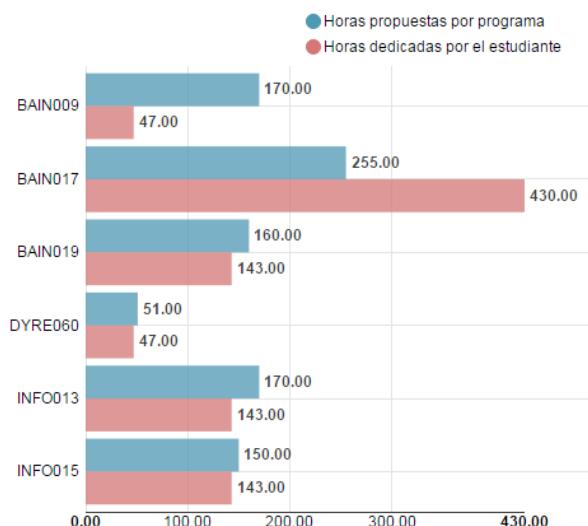


Figura 67: Comparación de horas dedicadas por los alumnos con horas propuestas por programa para grupo 3<sup>51</sup>

En la Figura 67, se puede apreciar que el tiempo que dedica el alumno perteneciente al grupo 3 a las asignaturas del semestre, no coincide al recomendado por los programas, lo cual se puede ver en Geometría donde el tiempo dedicado es mucho mayor y en Comunicación, donde es mucho menor, sin embargo, en varias asignaturas éste se acerca

<sup>51</sup> Gráfico de comparación de horas dedicadas con horas propuestas para el grupo 3 mostrado por la plataforma web.

bastante, ya que es muy similar en Química, Educación física y salud, Introducción a la programación y Taller de Ingeniería I.

## Anexo E: Informe completo de la encuesta de Usabilidad

A continuación se presenta el informe completo que provee Google Drive, para analizar las respuestas obtenidas a través del formulario creado. Los datos personales de los alumnos fueron difuminados para proteger su identidad.

15/12/2014 Encuesta de usabilidad - Formularios de Google Alexi Cordero Obando Editar este formulario

# 23 respuestas

[Ver todas las respuestas](#) [Publicar datos de análisis](#)

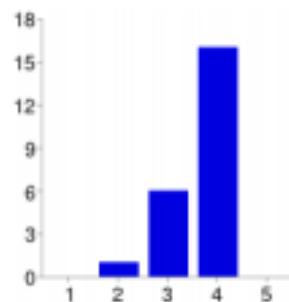
## Resumen

### Nombre completo

Mejoró mi productividad  
Mejoró mi eficiencia  
Mejoró mi calidad de trabajo  
Mejoró mi rendimiento  
Mejoró mi satisfacción laboral  
Mejoró mi salud mental  
Mejoró mi salud física  
Mejoró mi relación con mis colegas  
Mejoró mi relación con mis clientes  
Mejoró mi relación con mi jefe  
Mejoró mi relación con mi familia  
Mejoró mi relación con mis amigos  
Mejoró mi relación con mí mismo

## Reacción general al Software

### Reacción 1

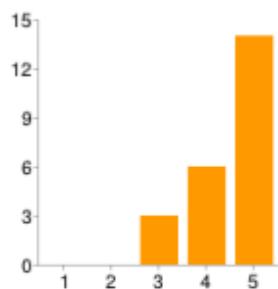


1	0	0%
2	1	4%
3	6	26%
4	16	70%
5	0	0%

### Reacción 2

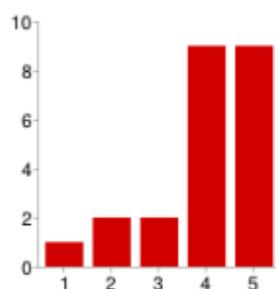
28/11/2014

Encuesta de usabilidad - Formularios de Google



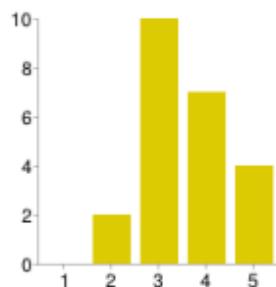
1	<b>0</b>	0%
2	<b>0</b>	0%
3	<b>3</b>	13%
4	<b>6</b>	26%
5	<b>14</b>	61%

**Reacción 3**



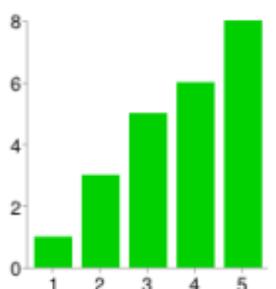
1	<b>1</b>	4%
2	<b>2</b>	9%
3	<b>2</b>	9%
4	<b>9</b>	39%
5	<b>9</b>	39%

**Reacción 4**



1	<b>0</b>	0%
2	<b>2</b>	9%
3	<b>10</b>	43%
4	<b>7</b>	30%
5	<b>4</b>	17%

**Reacción 5**



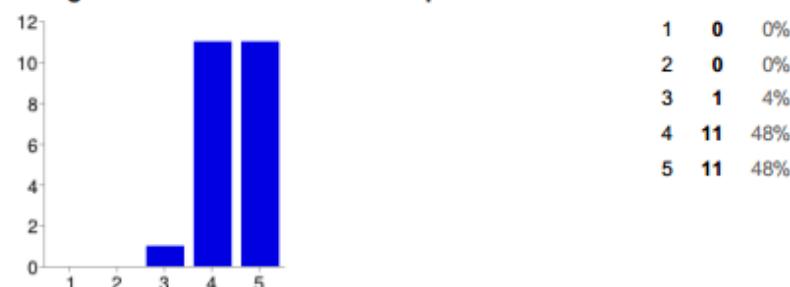
1	<b>1</b>	4%
2	<b>3</b>	13%
3	<b>5</b>	22%
4	<b>6</b>	26%
5	<b>8</b>	35%

## Vista Web

### 6. Leer caracteres en pantalla



### 7. Organización de la información en pantalla



### 8. Secuencia de las pantallas

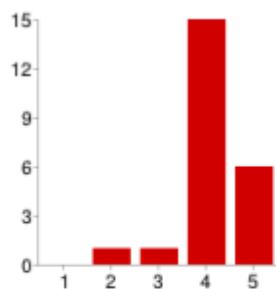


## Terminología y Sitio Web

### 9. Uso de términos en el sitio web

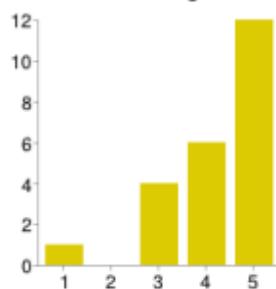
28/11/2014

Encuesta de usabilidad - Formularios de Google



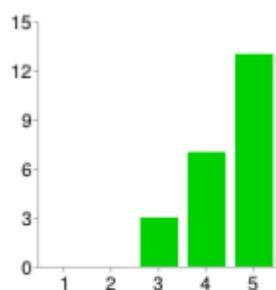
1	<b>0</b>	0%
2	<b>1</b>	4%
3	<b>1</b>	4%
4	<b>15</b>	65%
5	<b>6</b>	26%

**10. La terminología es intuitiva**



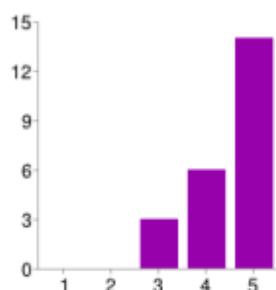
1	<b>1</b>	4%
2	<b>0</b>	0%
3	<b>4</b>	17%
4	<b>6</b>	26%
5	<b>12</b>	52%

**11. Posición de los mensajes en la pantalla**

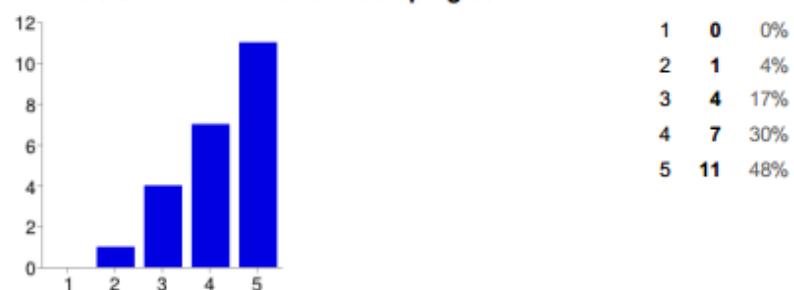


1	<b>0</b>	0%
2	<b>0</b>	0%
3	<b>3</b>	13%
4	<b>7</b>	30%
5	<b>13</b>	57%

**12. Solicitudes de entrada**

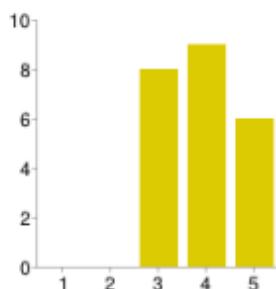


1	<b>0</b>	0%
2	<b>0</b>	0%
3	<b>3</b>	13%
4	<b>6</b>	26%
5	<b>14</b>	61%

**13. El sistema informa acerca de su progreso****14. Mensajes de error****Aprendizaje****15. Aprendizaje al usar el sistema****16. Explorar nuevas características mediante prueba y error**

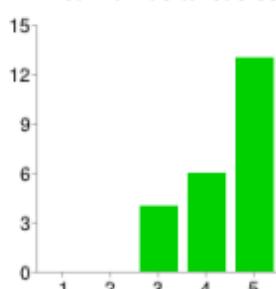
28/11/2014

Encuesta de usabilidad - Formularios de Google



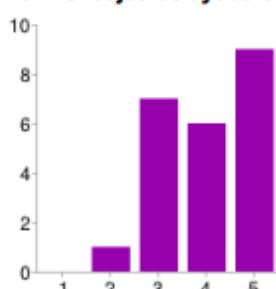
1	<b>0</b>	0%
2	<b>0</b>	0%
3	<b>8</b>	35%
4	<b>9</b>	39%
5	<b>6</b>	26%

**17. Realizar las tareas es sencillo**



1	<b>0</b>	0%
2	<b>0</b>	0%
3	<b>4</b>	17%
4	<b>6</b>	26%
5	<b>13</b>	57%

**18. Mensajes de ayuda en la pantalla**



1	<b>0</b>	0%
2	<b>1</b>	4%
3	<b>7</b>	30%
4	<b>6</b>	26%
5	<b>9</b>	39%

## Capacidades del Sitio Web

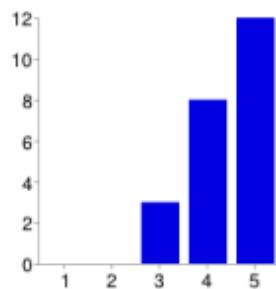
**19. Velocidad del sistema**

[https://docs.google.com/forms/d/1F9Aye6Tws55lw\\_Qxo-xbK1Jhr9ENCgQK2QR-PWD4X\\_Y/viewanalytics](https://docs.google.com/forms/d/1F9Aye6Tws55lw_Qxo-xbK1Jhr9ENCgQK2QR-PWD4X_Y/viewanalytics)

7/9

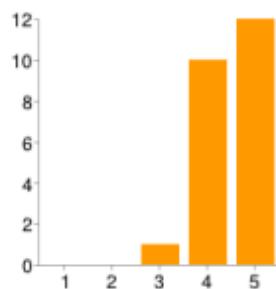
28/11/2014

Encuesta de usabilidad - Formularios de Google



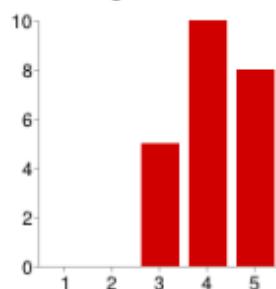
1	0	0%
2	0	0%
3	3	13%
4	8	35%
5	12	52%

**20. Confiabilidad del sistema**



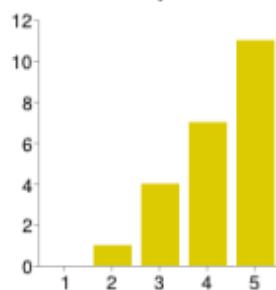
1	0	0%
2	0	0%
3	1	4%
4	10	43%
5	12	52%

**21. Corregir tus errores**



1	0	0%
2	0	0%
3	5	22%
4	10	43%
5	8	35%

**22. Diseñado para todos los niveles de usuario**



1	0	0%
2	1	4%
3	4	17%
4	7	30%
5	11	48%

[https://docs.google.com/forms/d/1F9Aye6Tws55lw\\_Qxo-xbK1Jhr9ENCgQK2QR-PWD4X\\_Y/viewanalytics](https://docs.google.com/forms/d/1F9Aye6Tws55lw_Qxo-xbK1Jhr9ENCgQK2QR-PWD4X_Y/viewanalytics)

89

**Comentarios**

esta bastante bueno :)

Muy bueno

Esta bastante bueno, ademas ayuda para ver en que ramos uno esta fallando

**Número de respuestas diarias**