



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

FACULTAD DE INFORMÁTICA

TESINA DE LICENCIATURA

TÍTULO: Soporte de decisiones multicriterio para la compra de productos online. Una propuesta desde la Aumentación Web.

AUTORES: Andrés Cimadamore

DIRECTOR: Alejandro Fernández

CODIRECTOR: Andrés Rodríguez

ASESOR PROFESIONAL:

CARRERA: Licenciatura en Informática

Resumen

La toma de decisión es objeto de estudio hace varias décadas. Los métodos de toma de decisión generalmente son utilizados en escenarios con un alto impacto financiero, ambiental o social. Un trabajo de investigación realizado propone Lógikos, un sistema que busca utilizar el método de toma de decisión AHP para asistir a usuarios en la compra de productos online. Este informe retoma el trabajo iniciado por Lógikos realizando un reimplementación del mismo buscando resolver diferentes problemas y, principalmente, proponiendo una serie de técnicas y herramientas para facilitar y agilizar el uso del método AHP. Se condujo un experimento con un conjunto de participantes con el fin de comparar, desde diferentes aspectos, las nuevas metodologías con las utilizadas normalmente en AHP.

Palabras Clave

Toma de decisión multicriterio, métodos de toma de decisión, AHP, comparaciones en pares

Trabajos Realizados

Se estudió la toma de decisión y más específicamente el método para toma de decisión multicriterio AHP. Se realizó un análisis sobre el trabajo de investigación que introduce Lógikos, un sistema para el soporte de decisión en el contexto de compra de productos online utilizando AHP. Se reimplementó el sistema mejorando varios aspectos. Se analizaron diferentes facetas de la toma de decisión con el fin de implementar nuevas funcionalidades en Lógikos, dando como resultado una nueva metodología que reduce las comparaciones requeridas en AHP y una nueva herramienta de comparación más intuitiva. Se condujo un experimento para comparar diferentes aspectos de la nueva metodología con la utilizada originalmente en Lógikos y se analizaron los resultados obtenidos.

Conclusiones

El enfoque propuesto busca agilizar y facilitar la utilización del método AHP, permitiendo reducir drásticamente la cantidad de comparaciones que se deben realizar y asegurando un alto nivel de consistencia de una forma transparente para el usuario. La nueva herramienta de comparación plantea una representación visual de la relación de los elementos comparados con la que es posible interactuar de una forma simple e intuitiva. Los resultados obtenidos en la etapa de experimentación fueron mayormente positivos, con una marcada tendencia de los participantes a preferir la nueva propuesta por sobre las herramientas clásicas de comparación

Trabajos Futuros

Se identifican como posibles trabajos futuros estudiar como el método propuesto se comporta en escenarios que implican un número alto de alternativas y una jerarquía de criterios compleja, entender con mayor profundidad como la reducción en el número de comparaciones requeridas afecta en la expresividad, analizando el impacto en diferentes cantidades de decisiones requeridas y agregar variabilidad a las decisiones inferidas, combinando diferentes valores de decisiones previas o variando ligeramente los valores, reduciendo la consistencia dentro de rangos aceptables pero aumentando la expresividad.

Fecha de la presentación: Febrero de 2022



Universidad Nacional de La Plata
Facultad de Informática

**Soporte de decisiones multicriterio para la
compra de productos online.
Una propuesta desde la Aumentación Web.**

Andrés Cimadamore

16 de febrero de 2022

Agradecimientos

A mis padres, a mi hermano y a toda mi familia por su apoyo incondicional durante toda mi vida.

A Casco por su guía e infinita paciencia a lo largo de todo este proceso. Al centro de investigación LIFIA por brindarme un espacio y los medios para realizar esta tesina.

A la Universidad Nacional de La Plata por darme la oportunidad de estudiar una carrera.

A Marcos por su compañía y apoyo constante para poder terminar este trabajo; a Petra por estar al lado mio en las noches de desvelo.

Índice general

1. Introducción	6
1.1. Motivación	6
1.2. Objetivos	8
1.3. Organización del documento	9
1.4. Publicaciones	10
2. Marco teórico y estado del arte	12
2.1. Toma de decisiones	12
2.2. Los métodos de toma de decisión	15
2.3. Métodos existentes	17
2.4. Analytic Hierarchy Process (AHP)	18
2.4.1. Jerarquía	18
2.4.2. Escala de valores y comparaciones en pares	19
2.4.3. Matriz de decisión y vector de prioridades	21
2.4.4. El proceso de toma de decisión con AHP	21
2.4.5. Consistencia	23
2.4.6. Ejemplo	24

3. Logikos	35
3.1. Recomendaciones en sitios de e-commerce	35
3.2. Los métodos de toma de decisiones en la vida diaria	36
3.3. <i>Logikós</i>	37
3.3.1. El extractor de información	37
3.3.2. Perfiles de comparación	38
3.3.3. Smart Ranking Strategies	38
3.3.4. El experimento	39
3.3.5. Resultados	41
4. Enfoque General	42
4.1. Asistencia en las comparaciones	42
4.2. Resultados obtenidos	43
4.3. Propuesta	43
5. Rediseño de la interfaz de usuario	45
5.1. Desafíos de AHP en el diseño de una interfaz de usuario	45
5.2. Problemas de usabilidad en <i>Logikós</i>	46
5.3. Nuevo diseño	48
5.4. Nueva interfaz de usuario	48
6. Reducción de las comparaciones	55
6.1. El problema	55
6.2. Análisis y creación de nuevas estrategias	56

6.2.1. Estrategias existentes	57
6.2.2. Análisis	57
6.3. Nuevo enfoque	62
6.3.1. Transitividad de la matriz de decisión	62
6.3.2. Reimplementación del widget de comparación	66
6.3.3. Nuevo flujo de trabajo	69
6.3.4. Ventajas	70
6.3.5. Implicaciones de la Formula de transitividad	71
7. Reimplementación de Logikós	72
7.1. Componentes	72
7.1.1. Extensión Web	72
7.1.2. Panel de administración	73
7.1.3. Servidor: API y base de datos	73
7.2. Tecnologías utilizadas en <i>Logikós</i>	73
7.3. Modelo de datos	74
7.4. Nuevo stack tecnológico	76
7.4.1. Frontend: Nuxt.js	76
7.4.2. Servidor: Express.js	77
7.4.3. Base de datos: MongoDB	77
7.5. Implementación y puesta en producción	78
8. Pruebas y encuestas	79
8.1. Hipótesis	79

8.2. Experimento	79
8.2.1. Diseño	80
8.3. Resultados	82
8.3.1. Tiempo y número de interacciones	82
8.3.2. Consistencia	83
8.3.3. Cuestionario	85
9. Conclusiones y trabajos futuros	98
9.1. Conclusiones Generales	98
9.2. Trabajos Futuros	100
A. Escenarios de prueba	102
A.1. Escenario A: Elegir un destino de viaje	102
A.2. Escenario B: Elegir un departamento	104
B. Cuestionario	105

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

Un desafío intelectual que debemos afrontar incesantemente los seres humanos es el de tomar decisiones. Todo lo que hacemos consciente e inconscientemente es el resultado de una decisión. Tomamos decisiones cotidianas como levantarnos o seguir durmiendo o grandes decisiones mudarnos de ciudad o tener un hijo. Como sociedad tomamos una decisión en grupo al votar a nuestros representantes. Países han luchado guerras por la decisión de unos pocos y revoluciones han triunfado por la decisión de muchos. Todos en algún momento tuvimos que tomar decisiones difíciles. Cuanto mayores sean las consecuencias de elegir la alternativa equivocada más complicado nos resulta decidirnos. Una mala elección puede costar tiempo, dinero o inclusive vidas. Muchas decisiones nacen de la intuición pero este no es un método confiable. Una alternativa es pedir una recomendación a otra persona. Ya en tiempos antiguos existían figuras importantes en la sociedad por su rol de consejeros. En el antiguo Egipto se creía que solo el faraón y los clérigos de alto rango podían encontrar la mejor solución a un problema. En Grecia, ante grandes eventos reyes y líderes consultaban a los oráculos en busca de predicciones ya que se creía que los dioses hablaban a través de ellos. Inclusive en la actualidad es común que la gente ante dificultades acudan a la fe o a practicas esotéricas, como las predicciones o la adivinación, en busca consejo. Pero no se trata de consultar a un poder elevado. Ante una decisión difícil, buscamos de alguna manera delegar la tarea en un tercero porque nos resulta muy complicado tomar una determinación por nuestra cuenta,

no solo por lo compleja que puede resultarnos la tarea en sí, sino también por diferentes aspectos emocionales con los que es necesario lidiar, como por ejemplo enfrentar las consecuencias de nuestra decisión. Las personas a las que acudimos son las que consideramos experimentadas en el problema que debemos afrontar, por ejemplo consultarle a un vendedor cual es el mejor electrodoméstico de acuerdo a nuestras necesidades o a un asesor financiero como invertir nuestros ahorros. La clave reside en la información. Lo que genera dificultades a la hora de tomar una decisión no solo son las consecuencias sino también la incertidumbre. Acudimos a un consejero porque consideramos que cuenta con mucho más conocimientos y experiencia en esa clase de decisiones. Los griegos acudían a oráculos porque se creía que estos podían presagiar el futuro, si tuviésemos tanta información para saber exactamente que va a suceder, tomar decisiones sería una tarea trivial. Aunque todavía no podemos predecir el futuro, nos encontramos en la era de la información. El uso de la intuición fue sustituido por la ciencia y la tecnología, el desarrollo de disciplinas como *Operation Research*, las ciencias de la administración y la estadística en conjunto con la computación, no son más que ayudas para asistir a las personas en tomar la mejor decisión. A partir de los años 50 se han creado métodos que asisten en la toma de decisiones y, aunque originalmente su desarrollo fue impulsado desde entornos corporativos para ser aplicados en áreas de gestión y administración, han sido aplicados con éxito en todo tipo de disciplinas. Algunos ejemplos de aplicación del método AHP, uno de los métodos de toma de decisión más extendidos, son:

- En 2001 se utilizó para determinar el mejor sitio de reubicación de la ciudad turca Adapazari devastada por un terremoto.
- Xerox utilizó AHP para destinar cerca de mil millones de dolares en proyectos de investigación.
- En 1995 fue utilizado para predecir con éxito que equipo iba a clasificar al Superbowl y ganarlo.
- El departamento de defensa de los Estados Unidos utiliza frecuentemente AHP para destinar recursos en diferentes actividades.
- IBM utilizó el método para el diseño de su computadora AS 400. Bauer et al. (1992) escribió como utilizó AHP en el benchmarking.

Si bien la utilización de los métodos de toma de decisiones ha tenido un sin fin de aplicaciones, existen pocos registros sobre su utilización en decisiones

cotidianas. Las personas se encuentran constantemente con situaciones donde deben tomar decisiones donde varios criterios se encuentran involucrados, un ejemplo es el de la compra de productos online. Los usuarios navegan la web buscando en distintos sitios el producto que les interesa eligiendo el más apropiado comparandolos con métodos improvisados o con la misma intuición. Los sitios de e-commerce generalmente proveen a los usuarios con funcionalidades muy rudimentarias para comparar un conjunto de productos y las recomendaciones provistas no son transparentes en su funcionamiento.

En el año 2020 se publicó el artículo “Supporting multi-criteria decision-making across websites: the Logikós approach” [8] donde se presenta *Logikós*, una herramienta que plantea un enfoque que permite utilizar toma de decisión multicriterio en cualquier sitio web; este utiliza diferentes métodos como técnicas de *Aumentación Web* para extraer información de los sitios y el proceso analítico jerárquico (AHP por sus siglas en ingles) para modelar el proceso de toma de decisión. Se condujo un experimento sobre un conjunto de sujetos de dos países diferentes. Los resultados arrojaron que a los usuarios les resulta útil crear modelos de decisión a medida y confían en los resultados obtenidos. Si bien *Logikós* plantea diferentes mecanismos que intentan reducir las comparaciones en pares que AHP requiere realizar a los usuarios (uno de los puntos más problemáticos de este método), los sujetos encontraron que la cantidad de comparaciones son el mayor inconveniente de la propuesta.

1.2. Objetivos

A partir de la experiencia del desarrollo de *Logikós* y los resultados obtenidos en la etapa de experimentación, se pudo observar que el enfoque propuesto permite a los usuarios utilizar métodos de toma de decisión en una tarea cotidiana como la es la compra de productos online, de una forma simple y obteniendo resultados que confiables. No obstante, existen desafíos propios del método AHP que deben ser resueltos para que la propuesta le resulte útil a los usuarios.

El objetivo de esta tesina es continuar con el trabajo iniciado por *Logikós* con el fin de buscar solucionar los problemas identificados por los usuarios durante la etapa de pruebas:

- Investigar material bibliográfico sobre la utilización de métodos de toma de decisión en escenarios de la vida cotidiana.

- Proponer un método para reducir el esfuerzo que es necesario invertir por parte de los usuarios a la hora de utilizar los métodos de toma de decisión.
- Reimplementar *Logikós* para llevar a cabo mejoras en la usabilidad e introducir nuevas formas de reducir el número de comparaciones a realizar.
- Realizar un experimento con sujetos para evaluar las soluciones introducidas y compararlas con las metodologías comúnmente usadas.

1.3. Organización del documento

El resto del documento se organiza de la siguiente forma:

En el capítulo 2 se analiza el marco teórico en lo que refiere a la toma de decisión. Se describe el desarrollo de las disciplinas que buscaron abordar el problema y se explican conceptos básicos para luego introducir los distintos métodos de toma de decisión que fueron desarrollados a través de los años. Finalmente se analiza en detalle el método AHP, uno de los métodos para la toma de decisión multicriterio más extendido y que es utilizado en este trabajo.

En el capítulo 3 se realiza un repaso sobre el trabajo de investigación realizado que sirve de antecedente para el desarrollo realizado en esta tesina. En el mismo se propone un enfoque para utilizar métodos de toma de decisión multicriterio para asistir a los usuarios en la compra de productos online. Se describen las funcionalidades provistas por *Logikós* que permiten comparar productos de diferentes sitios y simplificar el proceso de comparación a través de herramientas colaborativas y estrategias de comparación automática. Finalmente se ilustra el experimento realizado sobre un conjunto de sujetos para observar el grado de aceptación de la herramienta desarrollada y los resultados obtenidos.

Luego de analizado el marco teórico y la investigación ya realizada, en el capítulo 4 se presenta el desarrollo propuesto en este trabajo.

En el capítulo 5 se describen los problemas de usabilidad identificados en la interfaz gráfica por los usuarios y las dificultades de implementar una interfaz que se adapte al proceso que se debe representar. Luego se presenta el nuevo

lenguaje visual y se realiza un análisis de la nueva interfaz gráfica y como esta se diferencia de la anterior.

El capítulo 6 se analiza el problema de la gran cantidad de comparaciones que se deben realizar al utilizar el método AHP, y al ser este la base de *Logikós*, como afecta en el uso de la herramienta. Esta problemática fue manifestada por los sujetos durante la etapa de experimentación e identificada con anterioridad en varios recursos bibliográficos como la mayor desventaja del método AHP. La búsqueda de una solución a este problema es el punto central de este trabajo. En primer lugar se realiza un análisis del problema, en segundo lugar se listan las diversas dificultades que se identificaron por las que es complejo abordarlo y en tercer lugar se presenta un nuevo enfoque que, utilizando conceptos ya existentes en AHP y proponiendo una nueva forma en la que los usuarios realizan las comparaciones, intenta solventarlo.

A continuación, en el capítulo 7 se presentan los detalles técnicos de la nueva implementación de *Logikós*: los componentes que conforman la aplicación, las funciones que cumplen y como estos interactúan entre sí; el modelo de datos a través del cual se representa el proceso de toma de decisión y el conjunto de tecnologías utilizados en la implementación. La nueva implementación se encuentra disponible en el repositorio público [lifia-unlp/logikos](https://github.com/lifia-unlp/logikos) de la plataforma *GitHub*.

En el capítulo 8 se describe el experimento conducido con un conjunto de sujetos para investigar la efectividad del nuevo enfoque para reducir la cantidad de comparaciones al utilizar el método AHP. Se plantea una hipótesis, se describe el diseño y desarrollo del experimento y se analizan los resultados obtenidos.

Por último, en el capítulo 9 se presentan las conclusiones obtenidas y se listan posibles líneas de trabajo a futuro para continuar con lo desarrollado en este informe.

1.4. Publicaciones

Esta tesina ha servido como base de las siguientes publicaciones científicas:

- Andrés Cimadamore, Alejandro Fernandez, Chenhui Ye, Pascale Zaraté and Douba Kamissoko. (2021) A User Interface for Consistent

AHP Pairwise Comparisons. In: de Almeida A.T., Morais D.C. (eds) Innovation for Systems Information and Decision. INSID 2021. Lecture Notes in Business Information Processing, vol 435, pp. 119-134. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-91768-5_8

- Andres Cimadamore, Alejandro Fernandez and Pascale Zaraté, “A user interface design for consistent pairwise comparisons”, in ICDSST 2021 Proceedings – Online Version, , 2021, A.Choudhary, U. Jayawickrama, K. Spanaki and P. Delias, Eds., EWG-DSS. pp 54-55.

Capítulo 2

Marco teórico y estado del arte

2.1. Toma de decisiones

La toma de decisiones es un proceso cognitivo que resulta en la selección de una opción, que se considera óptima, entre un conjunto de alternativas; es un ejercicio mental que puede ser tanto racional como irracional. El proceso de toma de decisión ha sido el objeto de estudio de varias disciplinas durante décadas. Si bien en los capítulos siguientes veremos que las metodologías desarrolladas para la asistencia en la toma de decisiones pueden ser aplicadas para cualquier tipo de escenario, en este informe nos concentraremos en la toma de decisiones aplicada a la compra de productos. Según distintas investigaciones realizadas en el campo de la psicología del consumo (un campo aplicado de la psicología que busca entender el comportamiento del consumidor) existen varios factores que pueden dificultarle a un usuario decidir que producto adquirir.

Sobrecarga de información

Bettman y otros [1] sugieren que una decisión se torna más compleja cuando el número de alternativas, criterios a tener en cuenta o la incertidumbre sobre la información disponible aumentan. Limitadas por su capacidad para almacenar y procesar información, las personas se ven sobrepasadas y experimentan mayor dificultad cuando la tarea de decisión es más compleja y cognitivamente exigente. La carga de información aumenta al incrementarse el número de criterios y alternativas involucrados [15] pero también por otras dimensiones de la información como por ejemplo el número de anidamientos

de criterios [21]. Cuanto mayor es la carga de información más recursos cognitivos son necesarios para procesarla. El formato en el cual la información es presentada puede contribuir aún más en la complejidad de la tarea. Por ejemplo, un formato basado en alternativas generalmente demanda más trabajo para una persona que una presentación más simple basada en criterios [12].

Incertidumbre en la información

Las personas experimentan incertidumbre en una elección cuando la calidad de la información disponible sobre las alternativas o los criterios involucrados es baja, cuando hay información faltante o incompleta [16], o las fuentes de información son contradictorias [31].

Conflicto

Definido como el grado de correlación negativa entre los valores de los criterios, el conflicto frecuentemente requiere a las personas sacrificar una meta por otra. Algunos ejemplos son el precio y la calidad de un producto, el gusto y la salubridad de un alimento [24] y el respeto por el medio ambiente y la durabilidad de un producto [20]. Comparar y evaluar múltiples alternativas que varían de acuerdo a diferentes criterios y a su vez lidiar con diferentes situaciones donde hay que hacer este tipo de sacrificios es mentalmente complejo.

Dificultad emocional

Antes de tomar una decisión las personas pueden experimentar miedo, ansiedad y desesperación [17], especialmente cuando se consideran las consecuencias negativas y los riesgos asociados que conllevan los conflictos entre alternativas. Los componentes emocionales de un criterio pueden ser distintos a su importancia. Por ejemplo, la seguridad y maniobrabilidad de un automóvil son importantes, sin embargo preponderar el criterio más emocional, la seguridad, puede generar más efectos negativos que haber priorizado la maniobrabilidad [19]. Además, la deliberación para llegar a una decisión puede generar una sensación de pérdida. Las personas pueden llegar a apearse a las alternativas, experimentando incomodidad luego de haber elegido una opción y haber renunciando al resto [5].

Incertidumbre en la preferencia

La dificultad generada por el conflicto entre alternativas y la carga emocional

de una elección puede verse amplificada cuando las preferencias de una persona son inestables o no se encuentran del todo definidas. Es más, tener una preferencia sólida no siempre se corresponde con contar con un entendimiento sobre esta [23]. Sin una preferencia bien definida al momento de tomar una decisión, un individuo debe construir una en el momento, al mismo tiempo que debe identificar y evaluar alternativas, agregando una complejidad significativa a la tarea. En contraste, los sujetos que ya han articulado una combinación ideal de criterios experimentan menor dificultad en el proceso de elección [7].

Estas dificultades son comunes a cualquier escenario de toma de decisiones, sin embargo, si se tiene en cuenta el contexto de la compra de productos online existen diferentes aspectos a considerar que pueden dificultar aún más la tarea. En la actualidad existen amplios catálogos de productos que abarcan todas las facetas de la vida de los consumidores, desde las gondolas de los supermercados a opciones de inversión en el mercado financiero. Las oportunidades de configuración y customización se han vuelto comunes en los entornos de consumo y las posibilidades de personalización son enormes. Starbucks, por ejemplo, afirma que existen 87.000 formas diferentes de servir sus cafés. El vasto conjunto de productos, las oportunidades de customización y por lo tanto las alternativas disponibles ofrecen a los consumidores libertad en la selección como no se ha visto antes, sin embargo esto puede contribuir a ser una fuente de dificultad en la toma de decisiones. Con tanta libertad en el mercado actual, los consumidores se ven sobrecargados de tanta información que es necesario analizar como fabricantes, modelos, ofertas, proveedores, etc. La dificultad en la toma de decisiones suele agravarse ya que las personas a menudo prefieren sitios web o comercios que cuentan con una gran cantidad de productos, no reconociendo la complejidad de seleccionar un producto de un conjunto grande de alternativas. El clásico estudio realizado por Iyengar y Lepper [14] ilustra estas dificultades, comparando un puesto de muestras gratis de mermeladas con 6 variedades diferentes contra 24. A pesar de que los clientes se vieron más atraídos cuando la selección de mermeladas era grande (60 % vs 40 %), menos consumidores concretaron una compra cuando se contaba con mayor variedad de mermeladas (3 %) que con menor cantidad (30 %), debido a mayores dificultades para elegir una sola opción. La libertad de elección que existe en la actualidad puede ser tanto una bendición como una maldición en términos de incertidumbre en la preferencia. A pesar de que la posibilidad de encontrar nuestra opción ideal nunca ha sido mayor, hallar este ideal implica tener nuestras preferencias perfectamente definidas. Contar con un conjunto amplio de opciones incrementa la posibilidad de encontrar alternativas de nuestra preferencia, lo que a su

vez significa que las opciones más atractivas tendrán pocas diferencias entre sí, esto implica mayor incertidumbre al momento de decidir. Empoderar a los consumidores con mayores libertades de elección acarrea un costo que se traduce en mayor complejidad en la tarea, en la resolución de conflictos entre alternativas y en la carga emocional de tomar una decisión.

2.2. Los métodos de toma de decisión

Como tantas otras tecnologías, el desarrollo de metodologías para la toma de decisiones encuentra sus inicios en el desarrollo bélico. Durante la segunda guerra mundial surge el término *Operation Research (OR)*, una disciplina que busca aplicar métodos científicos de análisis para asistir en la toma de decisiones. La meta es asistir a las personas que gestionan sistemas organizativos con objetivos y fundamentos para una decisión. OR no es una ciencia por sí misma, sino la aplicación de la ciencia para soluciones de gestión y administración [10]. Mientras que la ingeniería utiliza un enfoque similar pero en sistemas donde el comportamiento humano no es relevante, *Operation Research*, por su parte, se desenvuelve en sistemas donde el factor humano tiene un papel clave. Durante la posguerra, el interés por el estudio de la toma de decisiones se transfirió al mundo de los negocios. El rápido crecimiento de las empresas en un mercado cada vez más globalizado produjo la creación de nuevos campos de estudio orientados a entornos corporativos con la toma de decisiones como protagonista. Las ciencias de la administración y gestión surgen como un estudio interdisciplinario de la resolución de problemas y la toma de decisiones en organizaciones. Es en este periodo surgen los primeros métodos de toma de decisión y comienzan a ser aplicados para todo tipo de escenarios. Durante la década de los '70 se empiezan a desarrollar sistemas de soporte de decisiones. Los *Decision Support System (DSS)*, por sus siglas en inglés, son sistemas informáticos orientados a asistir en los niveles de gestión, operaciones y planificación de una organización, ayudando en la toma de decisiones en entornos donde los riesgos son altos y los escenarios cambian constantemente.

La toma de decisión multicriterio (*MCDM* por sus siglas en inglés) es una de las ramas de estudio más reconocidas de la toma de decisiones. Los métodos *MCDM* buscan llegar a un objetivo (una decisión) cuando varios criterios en conflicto se ven involucrados [11]. Es importante destacar que los modelos no intentan computar una solución óptima, más bien buscan determinar, a través de varios métodos, un ranking de las alternativas que es óptima con

respecto a varios criterios [29].

Es posible identificar ciertos conceptos que todos los métodos tienen en común [6]:

- **Alternativas:** representan diferentes elecciones sobre las que el usuario quiere tomar una decisión. Estas deben ser analizadas y eventualmente priorizadas dando como resultado un ranking.
- **Múltiples criterios/atributos:** cada problema se encuentra asociado a múltiples criterios o atributos a considerar. Representan diferentes puntos de vista a través de los cuales se pueden analizar las alternativas. Pueden organizarse en una jerarquía si así el método lo permite.
- **Conflictos entre criterios:** Ya que cada criterio representa diferentes dimensiones de una alternativa pueden existir conflictos entre estos, por ejemplo el costo con la ganancia.
- **Unidades de medida inconmensurables:** Diferentes criterios pueden estar asociados a diferentes unidades de medida. Para el caso de la compra de un televisor se puede tener en cuenta el costo que se mide en pesos, el tamaño que se mide en pulgadas, la resolución tiene diferentes clasificaciones y la marca o el color no son cuantificables en una magnitud. Este aspecto, es una de las razones principales por la cual los problemas *MCDM* son intrínsecamente difíciles de abordar.
- **Pesos/Prioridades:** Muchos métodos de toma de decisión multicriterio requieren que se asignen pesos de importancia o prioridades a cada criterio. En general los pesos se encuentran normalizados totalizando el valor 1 o 100.
- **Matriz de Decisión:** un problema *MCDM* puede ser expresado como una matriz. Una matriz de decisión A es una matriz $(m \times n)$ donde el elemento a_{ij} indica el desempeño de la alternativa A_i cuando es evaluada en términos del criterio C_j . El cuadro [2.1] ilustra esto.

	C_1	C_2	C_3	\dots	C_n
Alts.	$(w_1$	w_2	w_3	\dots	$w_n)$
A_1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	\dots	a_{1n}
A_2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	\dots	a_{2n}
\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot
\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot
\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot
A_m	A_{m1}	A_{m2}	A_{m3}	\dots	A_{mn}

Cuadro 2.1: Matriz de decisión

2.3. Métodos existentes

A través de los años han surgido varias escuelas de pensamiento que han planteado diferentes enfoques para desarrollar métodos de toma de decisión. Podemos destacar dos escuelas de pensamiento: la americana y la francesa/europea [18, 25]:

- Escuela Americana:** utiliza *Full aggregation approach*, un enfoque donde se evalúa un puntaje de la alternativa por cada criterio y luego estos derivan en un puntaje global para la alternativa. Esto asume puntajes compensatorios, es decir, un mal puntaje para un criterio es compensado por un buen puntaje en otro. Entre los métodos más representativos se encuentran el *Weight Sum Model (WSM)*, el *Weighted Product Model (WPM)* y el *Analytic Hierarchy Process (AHP)*, siendo este último el más popular.
- Escuela Francesa/Europea:** utiliza *Outranking Approach*, en este enfoque se crean relaciones de ranqueo entre las alternativas llamadas *outranking relation*. Una outranking relation es una relación binaria S en un conjunto X de alternativas; a cada elemento $x \in X$ se le asigna un número $v(x)$, este valor es determinado por la evaluación de x sobre los atributos considerados. x es al menos tan bueno que y si y solo si $v(x) \geq v(y)$. Entre los métodos más populares que han surgido en esta escuela son *ELECTRE* y *PROMETHEE*.

2.4. Analytic Hierarchy Process (AHP)

El *Analytic Hierarchy Process (AHP)* es un método para la toma de decisiones que fue desarrollado por Thomas L. Saaty durante la década de 1970. Gracias a su simplicidad, es una de las técnicas más extendidas. AHP ha sido utilizado en escenarios complejos de toma de decisiones multicriterio, en un amplio abanico de dominios y ha encontrado una aplicación particular en toma de decisiones en grupo [27].

2.4.1. Jerarquía

Como lo indica su nombre, el *Analytic Hierarchy Process (AHP)* descompone el problema en una jerarquía de subproblemas que pueden ser analizados independientemente [13]. De este modo, las personas pueden explorar las diferentes matices del problema con distintos niveles de detalle. Aunque el concepto es simple, esta descomposición permite a los usuarios enfocarse en ciertos aspectos de cada alternativa por separado, facilitando el proceso de toma de decisión, disminuyendo la incertidumbre y aumentando la confianza en los resultados obtenidos por parte de los usuarios.

El primer paso es identificar el objetivo que se quiere cumplir, por ejemplo “Elegir un proveedor”, “Clasificar países por su calidad de vida”, “Elegir el mejor lugar para construir un hospital”, etc. El objetivo debe ser claro y conciso. A continuación se deben definir los criterios que se van a tomar en cuenta en la decisión. Los criterios se pueden descomponer en subcriterios y estos a su vez pueden subdividirse en otros subcriterios, cuanto sea necesario. Un criterio permite evaluar a las alternativas desde una de sus dimensiones, por ejemplo el costo. La definición de criterios y subcriterios le posibilita al usuario analizar las alternativas solo desde aquellos aspectos que son relevantes al objetivo con más o menos nivel de detalle según estos consideren necesario.

La jerarquía puede representarse como un árbol. En la raíz se encuentra el objetivo que se desea alcanzar. En los nodos de los niveles intermedios se encuentran los criterios, cada criterio tendrá como nodos hijo sus correspondientes subcriterios. Finalmente en las hojas del árbol se sitúan las alternativas que, como veremos más adelante, deben ser comparadas entre sí con respecto a cada uno de estos criterios.

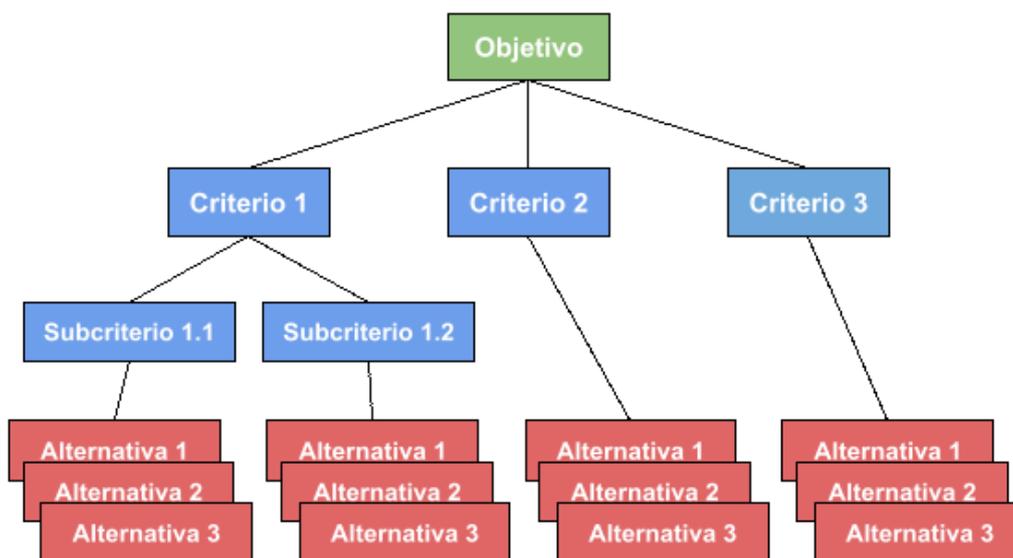


Figura 2.1: Diagrama de una jerarquía en AHP

2.4.2. Escala de valores y comparaciones en pares

Como se mencionaba anteriormente, uno de los desafíos más grandes que enfrentan los métodos de toma de decisión multicriterio es las diferentes unidades de medida que se deben considerar para una alternativa [3]. Para la compra de un terreno podríamos tener en cuenta el costo, que se mide en pesos o dolares y el tamaño, que se mide en metros cuadrados. Estas medidas no son compatibles entre sí. No es posible combinar el costo y el tamaño en un solo valor numérico. La situación es más compleja aún para aquellos criterios que no son cuantificables. Para el caso de la compra de un terreno ¿Cómo medimos la ubicación? ¿y estado del terreno? No existen unidades numéricas para comparar estos valores y más importante aún, la cuantificación que se podría llegar a asignar a los elementos es subjetiva: una persona puede valorar más un terreno en los suburbios y otra más uno en un área metropolitana, una pareja joven que vive en la ciudad va a querer un auto compacto, una familia de cuatro que vive en los suburbios va a preferir un auto amplio de cinco puertas.

La psicología cognitiva ha reconocido dos formas en la que los humanos hacemos comparaciones: una absoluta y una relativa. En la absoluta, las alternativas se comparan contra un estándar o punto de referencia que ha sido previamente acordado o ha sido desarrollado a través de la experiencia. En

Valor	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen de igual manera al objetivo.
3	Importancia moderada	El elemento es un poco más favorecido que el otro.
5	Importancia fuerte	El elemento es fuertemente favorecido con respecto al otro.
7	Importancia muy fuerte	El elemento es muy fuertemente favorecido sobre el otro.
9	Importancia extrema	El elemento es favorecido sobre el otro con el más alto nivel posible.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios	Utilizados cuando se quiere llegar a un punto medio entre dos valores de magnitud.

Cuadro 2.2: Escala de valores de AHP

las comparaciones relativas, en cambio, las alternativas son comparadas en pares de acuerdo a una propiedad que tienen en común, lo cual deriva en un índice que representa la relación de preferencia entre los dos elementos con respecto a esa propiedad [28]. En AHP, Saaty propone utilizar comparaciones relativas llamadas *comparaciones en pares* (pairwise comparison) y a estas asignar valores utilizando una escala verbal para expresar la preferencia de una alternativa sobre otra. En el cuadro 2.2 pueden observarse los valores disponibles para la escala de valores en AHP y el correspondiente significado de cada uno. Cada valor de la escala tiene asignado un valor numérico que representa la intensidad de importancia. La escala toma valores del 1 al 9, donde 1 expresa igualdad entre las dos alternativas comparadas y 9 una extrema preferencia de la primera alternativa sobre la segunda. Este método permite que los usuarios puedan comparar alternativas fácilmente obteniendo como resultado valores cuantificables sea cual sea la naturaleza de los elementos a comparar, tanto tangibles como intangibles. La efectividad de esta escala ha sido validada, no solo teóricamente sino además por aplicaciones prácticas.

2.4.3. Matriz de decisión y vector de prioridades

Las comparaciones en pares permiten comparar dos alternativas de acuerdo a un criterio y obtener un valor cuantificable. A continuación es necesario derivar el conjunto de comparaciones en pares en valores absolutos que expresen el índice de preferencia de una alternativa sobre el resto con respecto a un criterio. Es posible disponer las comparaciones en pares en una matriz denominada *matriz de decisión*. Una matriz de decisión A tendrá en su celda a_{ij} un valor de la escala de Saaty con el resultado de comparar la alternativa i con la alternativa j . Los valores sobre la diagonal principal siempre van a ser 1 ya que es la comparación de una alternativa contra si misma. Para una celda a_{ij} con valor x la correspondiente celda a_{ji} tendrá el valor contrapuesto $1/x$ ya que es la misma comparación expresada de forma inversa. La figura [2.2](#) ilustra una matriz de decisión para cuatro alternativas.

$$\begin{pmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} & a_{24} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 & a_{34} \\ 1/a_{14} & 1/a_{24} & 1/a_{34} & 1 \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

Figura 2.2: Ejemplo de matriz de decisión de tamaño 4x4

Una vez dispuestas las comparaciones en pares en la matriz de decisión es posible calcular la prioridad de cada alternativa sobre el resto, estos valores se representarán en un vector de prioridades. El vector siempre va estar normalizado, es decir la suma de sus elementos va a ser 1. Existen dos métodos para obtener el vector de prioridades, el aproximado y el exacto. El método aproximado solo arroja valores confiables para matrices pequeñas de a lo sumo 3x3 por lo que no es recomendable. El método exacto, es la forma más popular para derivar las prioridades a partir de la matriz. En este método, el vector de prioridades es igual al vector propio del mayor valor propio de la matriz [\[22\]](#). Nos referiremos a estos valores por su nombres en ingles: *principal eigenvector* y *principal eigenvalue* (λ_{max}) respectivamente.

2.4.4. El proceso de toma de decisión con AHP

Con los conceptos antes vistos, podemos definir los pasos a realizar al utilizar el método AHP [\[27\]](#):

1. Se determina cual es el objetivo a cumplir.
2. Se definen los criterios y subcriterios a tener en consideración estructurándolos en una jerarquía.
3. Cada criterio se compara con sus criterios hermanos (mismo padre) utilizando comparaciones en pares para determinar la importancia de cada criterio en la jerarquía.
4. Por cada criterio c se deben realizar las comparaciones en entre las alternativas para obtener las prioridades de cada alternativa con respecto a c . Este paso solo debe realizarse sobre aquellos criterios que no contengan subcriterios.
5. Se combinan todos los vectores de prioridad obtenidos en el paso anterior dando como resultado un nuevo vector que representa el ranking final de las alternativas.

Es importante denotar que los valores obtenidos en los pasos 3 y 4 son relativos. En el paso 3, los vectores de prioridad obtenidos de la comparación de cada conjunto de criterios hermanos tendrán valores que son relativos a la prioridad del criterio padre, con excepción de los criterios de más alto nivel que no tienen un criterio padre y son relativos a 1 (la suma total de prioridades). Por ejemplo si el criterio de primer nivel “especificaciones técnicas” tiene una prioridad de 0.3 y cuenta como subcriterios a “cilindrada” y “caballos de fuerza” y estos al ser comparados entre si se obtiene una prioridad de 0.6 y 0.4 respectivamente, estos dos valores son relativos a la prioridad de su criterio padre (0.3), por lo que los valores globales/absolutos son 0.18 y 0.12 respectivamente. Lo mismo sucede en el paso 4; los vectores de prioridad obtenidos al comparar las alternativas con respecto a un criterio tendrán un valor que es relativo a la prioridad de este. Por ejemplo si las comparaciones con respecto a la cilindrada arrojan que la alternativa A_1 tiene prioridad de 0.5 con respecto al resto, la prioridad global de esta alternativa para ese criterio en particular va a ser 0.09 ya que es relativa a la prioridad de la cilindrada (0.18).

Podemos apreciar que el proceso es muy simple, solo es necesario determinar la jerarquía y luego realizar múltiples comparaciones en pares. El cálculo de prioridades puede automatizarse fácilmente con alguna herramienta por ejemplo con una hoja de cálculos.

2.4.5. Consistencia

Como se mencionó anteriormente, las comparaciones son subjetivas. El usuario que debe tomar la decisión expresa su preferencia sobre un asunto y, aunque esta puede ser controversial, no podría ser considerada incorrecta. Sin embargo, estas preferencias deben ser consistentes entre sí, por ejemplo si se prefiere una manzana el doble que a una pera y la pera el doble que una naranja ¿cual va a ser la preferencia de la manzana con respecto a la naranja? La respuesta más consistente sería que se prefiere la manzana el cuádruple que a una naranja, sería totalmente inconsistente afirmar que preferimos una naranja a una manzana.

Una matriz de decisión es consistente si:

$$a_{ik} = a_{ij} * a_{jk} \quad (2.2)$$

Es común que los usuarios no sean perfectamente consistentes al realizar las comparaciones en pares, por lo que AHP permite cierto nivel de inconsistencia. Para una matriz se calcula un *Consistency Ratio (CR)*:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.3)$$

siendo el *Consistency Index (CI)*:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2.4)$$

y el *Random Consistency Index (RI)* es el *CI* promedio de un conjunto de matrices (aproximadamente 500) con valores aleatorios, que por lo tanto se puede esperar que sean altamente inconsistentes. Saaty provee el *RI* para diferentes tamaños de matrices como se puede observar en el cuadro [2.3](#).

Se considera que una matriz con $CR \leq 0,10$ tiene un nivel de consistencia aceptable por lo que puede ser utilizada en el proceso de toma de decisión [\[26\]](#). En el caso de no cumplir con el nivel de consistencia requerido, el usuario debe revisar los valores asignados a las comparaciones en pares y reajustarlos.

Tamaño de la Matrix	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Cuadro 2.3: Valores RI (Random Index) para matrices de decisión de diferentes tamaños.

2.4.6. Ejemplo

Para ilustrar el uso del método AHP, tomaremos como ejemplo un problema de toma de decisión de la vida cotidiana: la compra de un nuevo auto para una familia. Santiago y Maria Fernandez quieren cambiar su viejo auto. Siendo una compra importante y considerando que existen muchas opciones en el mercado, la familia quiere analizar con cuidado cual es la mejor alternativa. La pareja esta considerando cinco autos:

- **Ford Ka SE Modelo 2017:** Auto usado en perfecto estado. Cuenta con 50.000km. Modelo Sedán con cinco puertas color Rojo Merlot. Motor 1.5 de 105cv, 4 cilindros, 16 válvulas. Caja de cambio manual de 5 velocidades. Frenos ABS y Airbag delanteros. Interiores en tela, aire acondicionado y equipo de música AM/FM con conexión Bluetooth y comandos en el volante. Eficiencia 6.5l/100km. Precio \$1.175.500
- **Renault Logan Life 0km:** Auto 0km. Modelos amplio de cinco puertas. Color gris Cassiopea o cobre. Motor 1.6 de 115cv, 4 cilindros, 16 válvulas. Transmisión manual de 5 velocidades. Frenos ABS y Airbag delanteros y laterales. Tapizado en tela, cierre centralizado a distancia, vidrios eléctricos delanteros y manuales traseros. Aire Acondicionado. Eficiencia 7.3l/100km. Precio \$1.343.900.
- **Peugeot 208 Like 0km:** Auto 0km. Modelo compacto de 5 puertas. Color Azul oscuro, Blanco nacarado o Negro Perla. Motor 1.6 de 115cv sistema start/stop. Frenos ABS, Airbag delanteros y laterales, control de estabilidad. Vidrios eléctricos, cierre centralizado. Aire Acondicionado. Pantalla táctil de 7z sistema de audio de 6 parlantes. Conexión con aplicación MirrorLink. Eficiencia 7.5l/100km. Precio \$1.807.800.
- **Toyota Etios Sedan 0km:** Auto 0km. Amplio sedán de 5 puertas. Motor 1.6 de 103cv. Transmisión manual de 6 velocidades. Frenos ABS, Airbag frontales y control de estabilidad. Vidrios eléctricos y cierre centralizado. Aire acondicionado. Eficiencia 6.22l/100km. Precio \$1.546.000.

- Chevrolet Onix Joy Plus Modelo 2019:** Auto usado con 50.000km recorridos y reconstrucción del tren delantero. Amplio modelo de 5 puertas color azul oscuro. Motor 1.4 de 98cv, 4 cilindros, 8 válvulas. Transmisión manual de 5 velocidades. Interiores de tela, cierre centralizado, vidrios eléctricos delanteros y manuales traseros. Frenos ABS, Airbag delanteros. Pantalla táctil de 7". Eficiencia 8.9l/100km. Precio \$1.290.000.

Como en toda compra, a la familia le importa el costo de los automóviles, pero además quieren tener en cuenta el costo de mantenimiento (seguro, patente, servicio técnico, posibles reparaciones, consumo de combustible, etc.). Siendo cuatro y en el pasado haber tenido problemas de espacio quieren poner atención en la capacidad del vehículo. Como no tienen conocimientos de mecánica, no le dan mucha importancia a las especificaciones técnicas. Finalmente, si es posible les gustaría tener en cuenta el diseño del coche.

El primer paso es definir cual es el objetivo que se quiere cumplir, en este caso: “Comprar un nuevo auto para la familia Fernández”. La jerarquía puede plantearse como se observa a continuación:

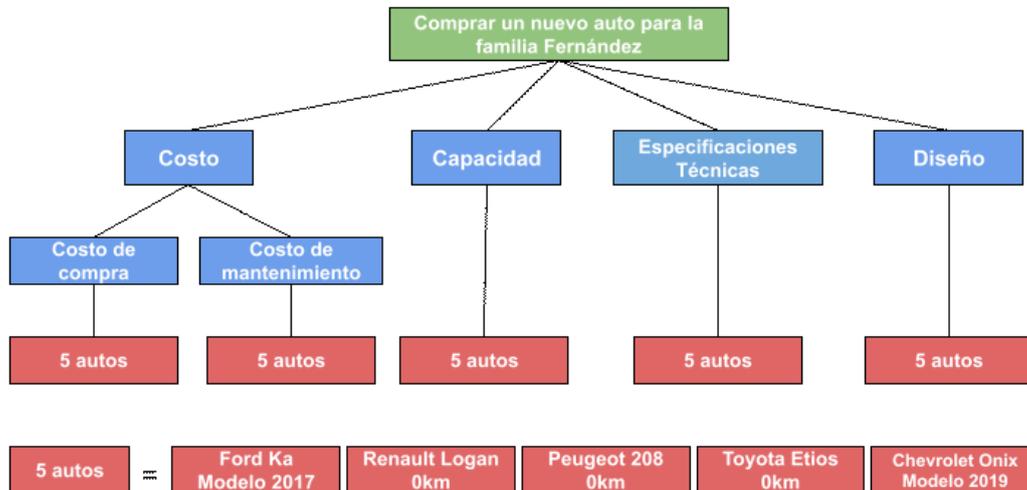


Figura 2.3: Ejemplo de compra de auto familiar - Diagrama de jerarquía

En la figura 2.3 podemos observar la jerarquía del caso de estudio. Los criterios principales son “costo”, “capacidad”, “especificaciones técnicas” y “diseño”. Se derivan dos subcriterios a partir de costo: “costo de compra” y “costo de mantenimiento”. Algunos criterios son fácilmente cuantificables como el costo o la capacidad, mientras que las especificaciones técnicas son

más difíciles de medir por todos los aspectos a tener en cuenta; finalmente, el diseño es intangible y totalmente subjetivo.

Una vez estructurada la jerarquía es necesario definir la importancia que tendrá cada criterio. Vimos anteriormente que para definir la importancia de cada elemento, tanto criterios, subcriterios, como las alternativas, debemos compararlos en pares. Para el primer nivel de la jerarquía las comparaciones a realizar son: costo/capacidad, costo/especificaciones técnicas, costo/diseño, capacidad/especificaciones técnicas, capacidad/diseño y especificaciones técnicas/diseño. Para el segundo nivel de la jerarquía existe un solo grupo de subcriterios por lo que solo hay que realizar la comparación costo de compra/costo de mantenimiento.

La primera comparación que debe realizar la familia es costo vs capacidad. La pareja debe ponerse de acuerdo cual de los dos criterios, según su opinión, es más importante y en que medida. Luego de una corta deliberación, Santiago y Maria acuerdan que el costo es moderadamente más importante que la capacidad. Como se explicó anteriormente, cada valor de importancia corresponde a un valor numérico dentro de la escala de Saaty vista en la figura 2.3. Para el caso de costo vs capacidad se asigna el valor 3 correspondiente a “importancia moderada”. Siguiendo el mismo procedimiento la pareja asigna valores a todas las comparaciones en pares de los criterios como ilustra el cuadro 2.4.

A	B	Más importante	Intensidad
Costo	Capacidad	A	2
Costo	Esp. Técnicas	A	3
Costo	Diseño	A	7
Capacidad	Esp. Técnicas	A	1
Capacidad	Diseño	A	3
Esp. Técnicas	Diseño	A	2

Cuadro 2.4: Ejemplo de compra de auto familiar - Tabla de comparaciones realizadas para criterios

Podemos disponer los valores de las comparaciones en una matriz de decisión como se ilustra en el cuadro 2.5.

Esta matriz tiene un *Consistency Ratio (CR)* de 0.02 por lo que tiene un valor de consistencia aceptable. Si la matriz hubiese tenido un $CR > 0,1$ Santiago y María deberían haber revisado sus comparaciones para alcanzar un mayor

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 7 \\ \frac{1}{2} & 1 & 1 & 3 \\ \frac{1}{3} & 1 & 1 & 2 \\ \frac{1}{7} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 \end{pmatrix} \quad (2.5)$$

Cuadro 2.5: Ejemplo de compra de auto familiar - Matriz de decisión para criterios

grado de consistencia. A partir de la matriz de decisión podemos derivar las prioridades de cada uno de los criterios comparados como se observa en el cuadro 2.6. Vemos que los pesos asignados a los criterios suman 1.

Costo	Capacidad	Especificaciones Técnicas	Diseño
0.53	0.25	0.14	0.08

Cuadro 2.6: Ejemplo de compra de auto familiar - Ranking de criterios

A continuación deben compararse los subcriterios de costo: costo de compra vs costo de mantenimiento. La correspondiente comparación junto con la matriz de decisión se presenta en el cuadro 2.7.

A	B	Más importante	Intensidad
Costo mantenimiento	Costo compra	B	3

$$\begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{3} \\ 3 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

Cuadro 2.7: Ejemplo de compra de auto familiar - Tabla de comparaciones y matriz de decisión para subcriterios de costo

Las comparaciones dieron como resultado que el costo de compra tiene una prioridad del 0.75 mientras que el costo de mantenimiento 0.25. Como se mencionó anteriormente, es importante observar que estos valores son relativos a la prioridad asignada al costo, que en este caso es de 0.53, por lo tanto el costo de compra globalmente tiene una prioridad de 0.40 (0.75 de 0.53) y costo de mantenimiento una prioridad de 0.13 (0.25 de 0.53).

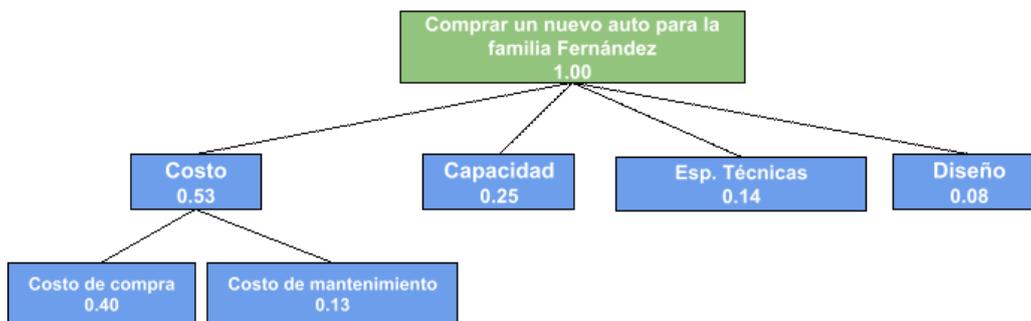


Figura 2.4: Ejemplo de compra de auto familiar - Diagrama de jerarquía ponderada

En la figura 2.4 podemos observar la jerarquía de criterios para el proceso de toma de decisión actual con las prioridades definidas a partir de las comparaciones anteriormente realizadas. Luego de definidas las prioridades de cada uno de los criterio es el momento de comparar los autos en pares con respecto a cada uno de los criterios independientes, que en este caso son: costo de compra, costo de mantenimiento, capacidad, especificaciones técnicas y diseño. El primer criterio por el que se deben compararse los autos es el costo de compra.

A	B	Más importante	Intensidad
Ford Ka	Renault Logan	A	2
Ford Ka	Peugeot 208	A	5
Ford Ka	Toyota Etios	A	3
Ford Ka	Chevrolet Onix	A	2
Renault Logan	Peugeot 208	A	2
Renault Logan	Toyota Etios	A	1
Renault Logan	Chevrolet Onix	A	1
Peugeot 208	Toyota Etios	B	2
Peugeot 208	Chevrolet Onix	B	3
Toyota Etios	Chevrolet Onix	B	2

Cuadro 2.8: Ejemplo de compra de auto familiar - Tabla de comparaciones de autos por precio de compra

En el cuadro 2.8 se muestran las comparaciones en pares de los autos con respecto al precio de compra. Siendo el Ford Ka un auto usado con años de antigüedad, su precio de venta es el más bajo y fue el preferido en todas las comparaciones donde se vio involucrado. Lo opuesto sucede con el Peugeot 208, un modelo 0km que es caro y muy por arriba del presupuesto con el que

cuenta la familia. Finalmente se puede observar que la pareja considera que el Renault Logan y el Chevrolet Onix estan en el mismo rango de precio. Luego de creada la matriz de decisión con los valores provistos y realizados los cálculos necesarios obtenemos el ranking de las alternativas desde el punto de vista del costo de compra como se puede observar en el cuadro [2.9](#).

Alternativa	Peso local	Peso Global - Costo compra (0.4)
Ford Ka	0.39	0.156
Renault Logan	0.17	0.068
Peugeot 208	0.08	0.032
Toyota Etios	0.14	0.056
Chevrolet Onix	0.22	0.088

Cuadro 2.9: Ejemplo de compra de auto familiar - Ranking de precio de compra

A continuación la pareja realiza la comparación de los autos por su costo de mantenimiento. El costo de mantenimiento es más complejo de comparar que el costo de compra ya que deben tenerse en cuenta varias variables. Las comparaciones realizadas se ilustran en el cuadro [2.10](#)

A	B	Más importante	Intensidad
Ford Ka	Renault Logan	B	4
Ford Ka	Peugeot 208	A	1
Ford Ka	Toyota Etios	B	2
Ford Ka	Chevrolet Onix	A	2
Renault Logan	Peugeot 208	A	4
Renault Logan	Toyota Etios	A	2
Renault Logan	Chevrolet Onix	A	5
Peugeot 208	Toyota Etios	B	3
Peugeot 208	Chevrolet Onix	B	2
Toyota Etios	Chevrolet Onix	A	4

Cuadro 2.10: Ejemplo de compra de auto familiar - Tabla de comparaciones de autos por precio de mantenimiento

De los cinco automóviles en consideración, dos son usados. Aunque tanto el Ford Ka como el Chevrolet Onix tienen 50.000km acumulados, sus estados son bastante diferentes. El Ka se encuentra en perfecto estado mientras que el Onix, que es más nuevo, la pareja lo vió algo descuidado, además tiene mucho kilometraje acumulado, lo que delata un uso intensivo y una reconstrucción

del tren delantero a raíz de un choque. Tanto el Renault Logan como el Toyota Etios tienen un bajo costo de mantenimiento, las pólizas de seguro son baratas, los service y respuestos son accesibles y tienen un bajo consumo de combustible. El Peugeot 208 es ligeramente más caro en todos los aspectos y un consumo mayor de combustible. El cuadro [2.11](#) contiene el ranking de alternativas según el costo de mantenimiento.

Alternativa	Peso local	Peso Global - Costo mantenimiento (0.13)
Ford Ka	0.12	0.016
Renault Logan	0.44	0.057
Peugeot 208	0.11	0.015
Toyota Etios	0.26	0.033
Chevrolet Onix	0.07	0.009

Cuadro 2.11: Ejemplo de compra de auto familiar - Ranking de precio de mantenimiento

El siguiente criterio es la capacidad. Santiago y Maria comparan los autos no solo por el espacio para pasajeros sino también por el tamaño del baúl. Las comparaciones realizadas se observan en el cuadro [2.12](#).

A	B	Más importante	Intensidad
Ford Ka	Renault Logan	B	2
Ford Ka	Peugeot 208	A	2
Ford Ka	Toyota Etios	B	2
Ford Ka	Chevrolet Onix	B	3
Renault Logan	Peugeot 208	A	4
Renault Logan	Toyota Etios	A	1
Renault Logan	Chevrolet Onix	B	2
Peugeot 208	Toyota Etios	B	4
Peugeot 208	Chevrolet Onix	B	6
Toyota Etios	Chevrolet Onix	B	2

Cuadro 2.12: Ejemplo de compra de auto familiar - Tabla de comparaciones de autos por capacidad

Cuando fueron a las concesionaria, la pareja no observó prácticamente diferencias de tamaño entre el Toyota Etios y el Renault Logan. El Ford Ka aunque mantiene las mismas dimensiones para el baúl, tiene un tamaño un poco más chico en el área de pasajeros. El Chevrolet Onix se destaca por su espacio, es un auto grande con mucho espacio de almacenamiento. El Pe-

geot 208, por otro lado, es un auto compacto con el espacio justo para cuatro pasajeros y un baúl pequeño.

Alternativa	Peso local	Peso Global - Capacidad (0.26)
Ford Ka	0.12	0.03
Renault Logan	0.22	0.06
Peugeot 208	0.06	0.02
Toyota Etios	0.22	0.06
Chevrolet Onix	0.38	0.09

Cuadro 2.13: Ejemplo de compra de auto familiar - Ranking de capacidad

El siguiente criterio por el que la familia debe comparar las alternativas es las especificaciones técnicas. Así como el costo de mantenimiento, este criterio le resultó complejo a la pareja. Además de no tener muchos conocimientos sobre autos, tienen en cuenta tanto características mecánicas, como medidas de seguridad provistas y accesorios de comfort. Las comparaciones realizadas se encuentran en el cuadro [2.14](#).

A	B	Más importante	Intensidad
Ford Ka	Renault Logan	B	2
Ford Ka	Peugeot 208	B	3
Ford Ka	Toyota Etios	B	2
Ford Ka	Chevrolet Onix	A	2
Renault Logan	Peugeot 208	B	2
Renault Logan	Toyota Etios	A	1
Renault Logan	Chevrolet Onix	A	4
Peugeot 208	Toyota Etios	A	2
Peugeot 208	Chevrolet Onix	A	6
Toyota Etios	Chevrolet Onix	A	4

Cuadro 2.14: Ejemplo de compra de auto familiar - Tabla de comparaciones de autos por especificaciones técnicas

El Chevrolet Onix tiene el motor más pequeño y con menos caballos de fuerza además de menos medidas de seguridad y accesorios. Desde el punto de vista de la pareja el Ford Ka, el Renault Logan y el Peugeot 208 tienen las mismas características en el motor. El 208 se destaca por contar con control de estabilidad, ABS frontales y laterales y con una pantalla táctil de 7". El cuadro [2.15](#) contiene el ranking de autos según las especificaciones técnicas.

Alternativa	Peso local	Peso Global - Esp. Técnicas (0.14)
Ford Ka	0.12	0.02
Renault Logan	0.22	0.03
Peugeot 208	0.38	0.05
Toyota Etios	0.22	0.03
Chevrolet Onix	0.06	0.01

Cuadro 2.15: Ejemplo de compra de auto familiar - Ranking de especificaciones técnicas

Finalmente el último criterio a considerar es el diseño del automóvil. La familia tiene preferencias parecidas por lo que no fue difícil llegar a un acuerdo. Las comparaciones en pares realizadas se pueden apreciar en el cuadro [2.16](#).

A	B	Más importante	Intensidad
Ford Ka	Renault Logan	B	2
Ford Ka	Peugeot 208	B	5
Ford Ka	Toyota Etios	B	2
Ford Ka	Chevrolet Onix	B	3
Renault Logan	Peugeot 208	B	3
Renault Logan	Toyota Etios	A	3
Renault Logan	Chevrolet Onix	B	2
Peugeot 208	Toyota Etios	A	2
Peugeot 208	Chevrolet Onix	A	3
Toyota Etios	Chevrolet Onix	B	3

Cuadro 2.16: Ejemplo de compra de auto familiar - Tabla de comparaciones de autos por diseño

El ford Ka es el auto menos preferido por la familia. No les gusta la forma ovalada y el color rojo merlot. Aunque el Logan y el Etios tienen un diseño parecido, hay una preferencia marcada hacia el primero. El 208 con su diseño moderno y deportivo es el favorito de la pareja. El ranking de automóviles según el diseño se puede observar en el cuadro [2.17](#).

Alternativa	Peso local	Peso Global - Diseño (0.08)
Ford Ka	0.07	0.006
Renault Logan	0.17	0.013
Peugeot 208	0.41	0.032
Toyota Etios	0.11	0.009
Chevrolet Onix	0.24	0.02

Cuadro 2.17: Ejemplo de compra de auto familiar - Ranking de diseño

Finalizadas todas las comparaciones necesarias es posible calcular el ranking final combinando los ranking ya obtenidos para cada uno de los criterios. En el cuadro [2.18](#) podemos observar por cada auto, la prioridad que este tiene de acuerdo a cada uno de los criterios, de la misma forma que se observó de forma separada en los cuadros anteriores. En la última columna vemos la prioridad total de cada vehículo. Empatados con una prioridad de 0.228 se encuentran el Ford Ka y el Renault Logan, el primero con una amplia diferencia con respecto a las otras alternativas por su costo de compra y el segundo con un buen puntaje general en todos los criterios. El Chevrolet Onix se encuentra tercero con una prioridad de 0.217 siendo una opción con un buen costo de compra y favorito en cuanto a la capacidad. El Toyota Etios tiene una prioridad de 0.149 sin haberse destacado particularmente en ninguna categoría. Finalmente el Peugeot 208 tiene la menor prioridad con 0.149, siendo la opción con los peores resultados en cuanto al precio de compra y capacidad y uno de los peores en cuanto al costo de mantenimiento, los criterios más ponderados por la familia.

Cuadro 2.18: Ejemplo de compra de auto familiar - Ranking final de automoviles

Auto	\$ Compra	\$ Mantenimiento	Capacidad	Esp. Técnicas	Diseño	Total
Ford Ka	0.156	0.016	0.03	0.02	0.006	0.228
Renault Logan	0.068	0.057	0.06	0.03	0.013	0.228
Peugeot 208	0.032	0.015	0.02	0.05	0.032	0.149
Toyota Etios	0.056	0.033	0.06	0.03	0.009	0.188
Chevrolet Onix	0.088	0.009	0.09	0.01	0.02	0.217

Capítulo 3

Logikos

3.1. Recomendaciones en sitios de e-commerce

La compra de productos online ha ido en constante aumento año tras año. Según el *Cámara Argentina de Comercio Electrónico (CACE)* el 90 % de los adultos argentinos conectados compró online alguna vez y solo en 2020, la facturación del e-commerce ha superado los \$900.000 millones. Los consumidores que antes se dirigían a negocios en su cercanía, ahora pueden acceder a cientos de tiendas en todo el mundo desde la comodidad de su casa. Para un producto existe un catalogo virtualmente infinito, con precios para todos los bolsillos y especificaciones para todos los gustos. Aunque contar con una oferta tan extensa resulta muy atractivo, tener tantas opciones disponibles puede resultar muy confuso para un consumidor.

Las tiendas online muchas veces proveen funciones para el soporte en la toma de decisiones pero estas son muy rudimentarias y se ven constantemente eclipsadas por el posicionamiento de productos que el negocio desea que los consumidores adquieran. Los usuarios pueden realizar búsquedas basadas en filtros y ordenamiento de los items resultantes, algunas plataformas inclusive permiten comparar productos entre sí, no obstante muchas veces esta comparación se limita a una tabla con los atributos de cada alternativa enfrentados entre sí, dejando en manos del usuarios realizar el proceso de comparación pertinente. Se suma como otro limitante que la comparación entre productos solo abarca a artículos de la misma tienda; muchos usuarios a la hora de realizar una compra comparan productos que vieron en múltiples sitios.

La mayoría de los sitios de e-commerce presentan publicidades y ofertas de productos, generando que la elección de una compra se vea influenciada por la conveniencia de una oferta de poca duración de tiempo. Es común que se presenten recomendaciones personalizadas con títulos como “Recomendados para tí” o “Descubrí” que buscan mostrar un conocimiento sobre los gustos de compra del cliente y una atención personalizada, sin embargo no existe forma de conocer el algoritmo con el que el sistema genera estas sugerencias. Al ser un mecanismo opaco, no es posible saber si un sitio busca el mejor interés para sus clientes o posicionar productos que buscan vender. Todos estos factores generan que las personas encuentren muchas dificultades a la hora de decidir que producto van a adquirir, solo los consumidores informados, que han investigado las alternativas disponibles en el mercado y realizado su propio proceso de decisión por separado, tienen un nivel de confianza alto sobre la decisión de compra que toman; el resto de las personas deben confiar en la recomendación de conocidos, opiniones y reviews de internet o aceptar la sugerencia del vendedor, que en este caso, es la plataforma de compras.

3.2. Los métodos de toma de decisiones en la vida diaria

El origen de disciplinas como *Operation Research (OR)* y el desarrollo de métodos para la toma de decisiones vieron su origen en áreas donde las decisiones son complejas y tienen un alto impacto [28]: estrategia militar, inversión de grandes sumas de dinero, obras públicas con alto impacto ambiental y social, etc. En estos campos, es común realizar amplios estudios y análisis exhaustivos con el fin de llegar a la decisión más acertada. En la mayoría de los casos, esto implica una extensa tarea que involucra directa o indirectamente a muchas personas. En estos escenarios la decisión tiene un impacto tan grande que justifica este proceso de investigación previa, por ejemplo el lanzamiento de un nuevo producto para una empresa implica costos de investigación y desarrollo (I+D), diseño de un nuevo proceso de producción, costos de fabricación y transporte, gastos en publicidad, gastos legales como licencias y certificaciones, resolver problemas logísticos, etc. Es normal que se realicen estudios de mercado, análisis económicos y otras evaluaciones antes de tomar una decisión. Si bien este proceso de análisis previo es costoso, contar con esta información ayuda a la empresa a tomar una decisión informada que podría ahorrarle mucho dinero e inclusive ayudarlo a posicionar mejor el nuevo producto.

Aunque estos son los casos de uso más comunes, en teoría, los métodos de toma de decisión multicriterio pueden ser utilizados para tomar cualquier tipo de decisiones, inclusive para situaciones tan triviales como decidir que plato elegir del menú de un restaurante. Existen diversos estudios donde se aplicaron métodos MCDM en la selección de productos: Büyüközkan y otros [4] utilizan una variante fuzzy del método *TOPSIS* para toma de decisión grupales en la selección de un smartphone, Chen [30] por su parte, propone la implementación de un *Decision Support System (DSS)* para la elección de smartphones utilizando el método AHP.

3.3. *Logikós*

En el trabajo de Fernandez y otros [9, 8] se plantea la utilización de un DSS para asistir los usuarios en la decisión de adquirir productos en sitios de e-commerce. Con esta premisa el equipo de investigación desarrolló un conjunto de herramientas llamada *Logikós*, utilizando como caso de estudio el escenario de la compra de un smartphone y condujo un experimento para evaluar la aceptación del sistema.

Logikós se compone de tres componentes principales: un extractor de información, un sistema de gestión de perfiles de comparación compartibles y las *Smart Ranking Strategies*.

3.3.1. El extractor de información

Logikós esta construido sobre *Web Objects Ambient (WOA)* [2], un enfoque que permite extraer información desde cualquier sitio web. Con *WOA*, los usuarios definen plantillas que especifican objetos que pueden ser reconocidos y extraídos de sitios web. En las plantillas se indican el tipo/clase de objeto, un sitio web donde el template puede ser utilizado y un diccionario de propiedades que componen al objeto. Por cada propiedad se especifica un selector *XPath* que debe ser utilizado para obtener el valor de la propiedad en el sitio. Mediante *Aumentación Web*, como por ejemplo extensiones web, es posible anexar *WOA* a cualquier sitio web agregando la posibilidad de extraer información de estos.

Logikós hace uso de las funcionalidades provistas por *WOA* para permitir a los usuarios extraer información de un producto que le interesa adquirir sin importar el sitio donde se encuentre. El objeto extraído es, en esencia, una alternativa, con toda la información necesaria para ser comparada con el resto de elementos.

3.3.2. Perfiles de comparación

Un perfil de comparación es un modelo que especifica como un grupo de personas deciden entre un conjunto de alternativas de un cierto tipo. Los creadores de perfiles especifican los criterios que son relevantes y la prioridad que tendrán en el proceso de toma de decisión. Por ejemplo, el perfil “Económico” seguramente pondere el costo por sobre todo, algo útil para usuarios con un presupuesto ajustado. Un perfil “Fotógrafo amateur” orientado a personas que les gusta sacar fotografías, hará incapié en elegir un celular con buena cámara y tal vez en menor medida, a tener un amplio almacenamiento. Los perfiles pueden ser creados por una o más personas y reusados por cualquier usuario de la plataforma que considere que el perfil representa sus preferencias. En caso de no encontrar un perfil que satisfaga sus requerimientos, el usuario puede crear un nuevo perfil y compartirlo al resto de la comunidad o usarlo de forma privada. Un perfil de comparación es un modelo de AHP reusable que incluye todos los componentes vistos en los capítulos anteriores con excepción de las alternativas. El autor de un perfil define los criterios intervinientes y realiza las comparaciones necesarias para definir la importancia de cada uno, el usuario del perfil, por su parte, solo debe proveer las alternativas sobre las que quiere tomar una decisión y realizar ciertas comparaciones de ser necesario. Se puede considerar a los creadores del perfil como expertos a los que los usuarios acuden para elegir el mejor producto de cierta temática, de la misma forma que un individuo podría pedirle a un conocido o empleado de un negocio sobre recomendaciones de compra. La diferencia reside en que un perfil además es participativo, reutilizable cuantas veces sea necesario y principalmente, transparente sobre que criterios se priorizan.

3.3.3. Smart Ranking Strategies

Cuantos más criterios y alternativas un modelo de AHP tiene, más comparaciones en pares son necesarias. Gracias a los perfiles de comparación,

Logikós reduce en cierta forma la cantidad de comparaciones que el usuario debe realizar, delegando a los creadores del perfil las comparaciones de los criterios; de esta manera los usuarios no necesitan preocuparse por este paso. Sin embargo, como no es posible saber de antemano las alternativas que va a considerar el usuario del perfil, las comparaciones en pares entre alternativas aún debe realizarlas. *Logikós* introduce el concepto de *Smart Ranking Strategies (SRS)* de forma que sea posible reducir la necesidad de realizar comparaciones en pares para las alternativas. Las *SRS* especifican como una alternativa debe ser comparada con otra dado un atributo, sin la necesidad de intervención por parte del usuario. El autor del perfil puede especificar para cada criterio una *SRS* y configurarla. De esta manera, el usuario del perfil al contar con un conjunto de alternativas podrá evitar compararlas de acuerdo a aquellos criterios que cuenten con *SRS* configuradas. Fueron implementadas tres estrategias:

- **Normalized Numeric Difference:** trata el valor del atributo como un número y compara los valores por su magnitud.
- **Equally Spread Values:** esta estrategia sirve para los casos donde se conocen de antemano todos los valores posibles para un atributo, estos pueden ser ordenados de peor a mejor y la diferencia entre dos elementos consecutivos cualquiera es siempre igual. En este caso los valores pueden ser comparados por su posición dentro de la colección y la distancia entre ellos.
- **Stored Pairwise Comparisons:** esta estrategia es aplicable cuando se conocen todos los valores posibles para un atributo pero estos no pueden ordenarse en elementos con igual diferencia de importancia. Los valores son comparados con comparaciones de a pares y los resultados son almacenados de tal manera que el usuario del perfil no deba hacerlo.

3.3.4. El experimento

Se realizó un experimento controlado sobre 10 personas de diferentes instituciones en Europa y Sudamérica. El objetivo general era entender como el enfoque de *Logikós* de asistir en decisiones multicriterio podía ayudar a usuarios a lidiar con el proceso de decisión al comprar productos online, concentrándose en escenarios donde la compra, desde el punto de vista del consumidor, requiere un análisis atento. Un objetivo clave del experimento

era comprobar si los consumidores de productos online podían confiar en decisiones utilizando un *DSS* como *Logikós*.

A los participantes del experimento se les presentó un escenario donde tienen que ayudar a una persona a elegir un celular. A partir de una descripción de lo que busca el ficticio comprador, se le solicitó a cada participante que armen un ranking de las propiedades desde la perspectiva del comprador. Podemos separar el resto del experimento en cuatro etapas:

1. **Ranking sin herramientas de soporte:** A partir del ranking de propiedades ya armada y un conjunto de teléfonos recolectados, se solicitó a los participantes elegir las tres mejores opciones y a continuación se les hizo preguntas para relevar la confianza en sus elecciones:
 - ¿Que tan confiado está en su decisión?
 - Algunas personas hicieron recomendaciones diferentes ¿Eso hace dudar su decisión?
2. **Ranking utilizando perfiles de decisión compartidos:** Luego de describir los perfiles de decisión ya definidos en la aplicación, el moderador del experimento le solicitó a los participantes que seleccionaran el que mejor se adaptaba al escenario y con este elegir los tres mejores teléfonos. Se les preguntó:
 - Comparando la selección de teléfonos actual con respecto a la anterior ¿En cual confía más? ¿Por que?
3. **Ranking con perfil personalizado:** El moderador le mostró a los participantes como crear un perfil de comparación. Se le solicitó a cada participante crear un perfil que mejor se adapte al escenario de compra y que lo utilicen para seleccionar las tres mejores alternativas.
4. **Análisis FODA:** A partir de las devoluciones hechas por los participantes se detectaron las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas en el enfoque y las herramientas utilizadas.



Figura 3.1: Flujo del experimento realizado en la primera implementación de *Logikós*

3.3.5. Resultados

Luego de realizado el primer ranqueo sin utilizar ningún tipo de herramienta, ocho de cada diez participantes se mostraron confiados de su elección. Sin embargo, cuando fueron informados que otros usuarios tuvieron otras elecciones, la mitad de ellos dudaron de sus decisiones. Luego de realizado el segundo ranking, ocho prefirieron las elecciones a partir de la intuición a las producidas por los perfiles predefinidos. Sin embargo, al producir el tercer ranking, las preferencias cambiaron drásticamente hacia *Logikós*.

A partir del análisis FODA realizado con las respuestas de los sujetos, se identificaron como fortalezas la posibilidad de realizar comparaciones automáticamente con el uso de las *Smart Ranking Strategies* y la flexibilidad de la herramienta para crear perfiles de decisión personalizados. Las debilidades estuvieron principalmente relacionadas a problemas de usabilidad, tanto en la implementación de la herramienta como aspectos intrínsecos de AHP, particularmente en el hecho de tener que realizar comparaciones en pares, una tarea que los sujetos encontraron engorrosa y aburrida. Muchos participantes encontraron como oportunidades que el sistema sea independiente del modelo pero también se destacó el hecho que es necesario realizar todas las comparaciones requeridas por AHP. Las principales amenazas identificadas se encuentra que al lidiar con un gran número de criterios se necesita experiencia en toma de decisiones multicriterio, algo que también aplica para AHP.

Capítulo 4

Enfoque General

El desarrollo de *Logikós* surge de la idea de proponer una solución a las dificultades típicamente encontradas por los usuarios a la hora de adquirir productos online. Basándose en un enfoque analítico del problema mediante la aplicación de métodos *MCDM* se busca asistir al usuario para que tome una decisión informada y sin la influencia de plataformas de e-commerce o tiendas online.

Logikós se basa en cuatro premisas:

1. Es posible aplicar métodos de toma de decisiones multicriterio en este tipo de decisiones.
2. Los usuarios tienen más confianza en los resultados obtenidos utilizando este enfoque.
3. Los usuarios prefieren un enfoque analítico por sobre el uso de la intuición a la hora de tomar esta clase de decisiones.
4. La herramienta les resulta útil a los usuarios y lo utilizarían en el día a día.

4.1. Asistencia en las comparaciones

Para que los usuarios elijan *Logikós* sobre la forma típica de realizar comparaciones, la herramienta debe ser capaz de presentar el flujo del proceso de

decisión de una forma simple. A diferencia de otros *DSS*, *Logikós* no se limita simplemente a la aplicación de AHP para comparar las alternativas, sino que además provee diferentes funcionalidades con el foco puesto en el caso particular de la compra de productos online, un ejemplo de esto es la utilización de métodos de aumentación web para extraer información de productos desde distintos sitios que el usuario esta visitando. Existen dos mecanismos para intentar simplificar y reducir el esfuerzo que es necesario invertir en el proceso de toma de decisión: el uso de perfiles reutilizables y las estrategias de comparación. Los perfiles representan una plantilla de los criterios que se van a ponderar y en que medida al momento de la toma de decisión. Al encontrarse ya creados por un autor, los usuarios evitan realizar este conjunto de comparaciones, solo deben elegir el perfil que mejor representa sus prioridades. Durante la creación de un perfil, el autor de este puede especificar una estrategia de comparación para los criterios de tal manera que el usuario no deba tener que realizar este conjunto de comparaciones.

4.2. Resultados obtenidos

El experimento conducido buscó comprobar las cuatro premisas sobre las que se basó el desarrollo. El objetivo general era entender como el enfoque de *Logikós* de asistir en decisiones multicriterio podía ayudar a usuarios a lidiar con el proceso de decisión al comprar productos online. Los resultados encontrados fueron mayormente positivos. Los usuarios expresaron confianza en los resultados obtenidos con la aplicación, destacando el uso de las estrategias de comparación y la flexibilidad que proveen los perfiles de comparación. A pesar de las valoraciones positivas a nivel general, es necesario tener en cuenta los problemas expresados por los usuarios. Los principales inconvenientes encontrados a partir del análisis FODA realizado fueron de usabilidad tanto en el uso de la aplicación como en el flujo de trabajo del método AHP, especialmente en el hecho de tener que realizar comparaciones en pares.

4.3. Propuesta

A partir de los resultados obtenidos en el experimento realizado sabemos que la propuesta planteada por *Logikós* puede resultarle útil a los usuarios.

El principal inconveniente son las comparaciones en pares, una característica clave de AHP y por lo tanto un problema difícil de resolver. No se trata solamente de la cantidad de comparaciones que se deben realizar, sino también lo tedioso que resulta el proceso. Los perfiles de comparación y las estrategias buscan tratar de resolver el problema. Por lo tanto, se propone en este trabajo una reimplementación completa de *Logikós* con el objetivo de mejorar la usabilidad de la aplicación y, principalmente, analizar alternativas para mitigar el problema del alto número de comparaciones en pares que deben realizar los usuarios en AHP.

Capítulo 5

Rediseño de la interfaz de usuario

5.1. Desafíos de AHP en el diseño de una interfaz de usuario

Como se ha mencionado en varias ocasiones en los capítulos anteriores, AHP es un método muy simple. Los usuarios pueden rápidamente entender el flujo de trabajo y comenzar a realizar las comparaciones necesarias, hasta el punto que todo el proceso puede pasar desapercibido como un conjunto de encuestas. Las comparaciones pueden realizarse mediante una entrevista de forma oral, escritas en papel o utilizando un *Decision Support System (DSS)*. Sin embargo, esta fortaleza puede resultar el aspecto más problemático al implementar una interfaz de usuario. El principal inconveniente es que el mismo proceso de comparación debe realizarse varias veces para diferentes elementos: entre los criterios, entre los diferentes subcriterios y entre las alternativas varias veces de acuerdo a diferentes aspectos (los criterios definidos). Si el flujo de trabajo de la aplicación y la interfaz de usuario no son claros, el usuario puede rápidamente desorientarse. No hay que subestimar también el efecto que puede generar en un usuario que la mayor parte del proceso es realizar la misma tarea múltiples veces. El trabajo le puede resultar muy monótono y repetitivo lo que puede generar una pérdida de interés que impactaría directamente en la calidad de las comparaciones realizadas.

Al realizar el análisis FODA, la mayoría de los sujetos del experimento iden-

tificaron como debilidad problemas de usabilidad en la herramienta y que las comparaciones en pares les resultaban tediosas.

A diferencia de otros *Decision Support System (DSS)* que son de propósito general, *Logikós* esta pensado para estudiar el uso de métodos de toma de decisión multicriterio en decisiones de la vida cotidiana utilizando como prueba de concepto el caso de la compra de productos online. Este tipo de decisiones requieren una menor dificultad para los usuarios que los problemas en los que típicamente se utilizan los métodos *MCDM*, por lo que la cantidad de esfuerzo que estos esperan invertir en la tarea es bajo. Si el proceso es difícil de entender, largo, repetitivo y/o aburrido es probable que opten por no utilizar la herramienta.

5.2. Problemas de usabilidad en *Logikós*

Al utilizar *Logikós* uno de los inconvenientes con el que rápidamente nos topamos es en lo complejo que es el proceso de creación de un perfil de decisión. Al representar el proceso con un diagrama user flow se observa que el usuario debe recorrer una gran cantidad de vistas para completar el proceso, además este recorrido no es lineal, debe retrocederse a vistas previas en múltiples ocasiones.

En la figura [5.1](#) se puede observar el diagrama *user flow* de creación de un perfil en *Logikós*. Podemos observar rápidamente que si bien existen pocas acciones a realizar hay una gran cantidad de líneas de flujo (flechas). Si se analiza con detenimiento las interacciones que debe realizar el usuario, las pantallas que se deben visitar son equivalentes a recorrer la jerarquía de criterios y subcriterios que se debe representar, navegando por la jerarquía hasta alcanzar un criterio que se encuentra en una hoja del árbol de jerarquía para volver a un nodo intermedio y descender por otra rama. La creación de un criterio y sus correspondientes subcriterios es un proceso recursivo que puede extenderse cuantas veces la jerarquía lo requiera. Teniendo en cuenta esto y analizando el diagrama es posible apreciar cual es el mayor inconveniente: la creación de un perfil se compone de un mismo proceso muy simple que se repite múltiples veces. Esta navegación continua siempre sobre las mismas vistas en diferentes contextos genera que el proceso sea difícil de seguir inclusive en el diagrama ilustrado. Intente seguir el diagrama para crear un perfil con una jerarquía simple con criterios con un solo nivel de anidación, por ejemplo tres criterios: C_1 , C_2 y C_3 con sus correspondientes subcriterios:

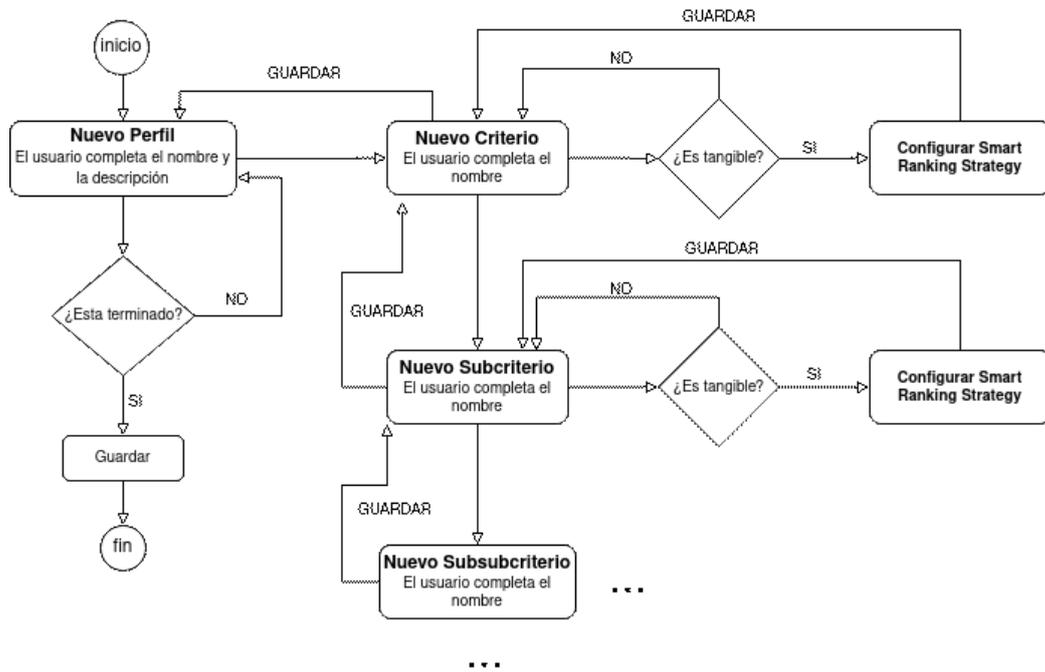


Figura 5.1: Userflow de creación de un perfil en Logikos. Obsérvese que el proceso de creación de criterios puede repetirse una cantidad indefinida de veces.

C_{11} , C_{12} , C_{31} y C_{32} . Observe como muchas veces al completar un subcriterio se retorna a la vista de creación del criterio padre para poder comenzar a crear otro subcriterio y además que una vez completado un criterio debe volver a repetirse el mismo proceso para agregar otro ¿Que sucede si existen más criterios con múltiples niveles de anidación?

Sobre estos inconvenientes antes descritos se suma como agravante que todas las interacciones, inclusive aquellas que se realizan sobre una misma vista (por ejemplo la selección de un valor para una comparación entre elementos) requiere la recarga de la página completa. Esto no solo puede contribuir a que el usuario le resulte difícil seguir el proceso sino que además genera que ciertos campos de formularios se vacíen teniendo que completar nuevamente la información.

5.3. Nuevo diseño

Al plantear una nueva interfaz de usuario, todas las vistas fueron reimplementadas siguiendo un nuevo lenguaje visual. Se hizo especial incapié en solucionar los problemas descritos anteriormente en la creación de perfiles de comparación. La nueva interfaz debía ser más clara visualmente, evitando los cambios de vistas y las recargas de página y debían eliminarse o, al menos, disminuir al máximo los retrocesos. La creación de un perfil debía ser un proceso claro, simple y lineal.

Se utilizó la plataforma Figma para el diseño de los mockups de las diferentes pantallas de la nueva versión de *Logikós*. Esta herramienta permite generar rápidamente un prototipo interactivo para previsualizar la nueva interfaz de usuario, probar diferentes alternativas, analizar como se desarrollan los flujos de trabajo y rápidamente realizar las modificaciones y ajuste necesarios. Con Figma fue posible probar diferentes paletas de colores hasta encontrar la más apropiada, crear componentes y replicarlos a través de todo el proyecto y probar la responsividad y facilidad de uso de la aplicación desde un prototipo interactivo. Solo cuando el diseño se encontraba completo se comenzó con su implementación.

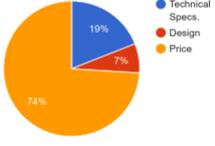
5.4. Nueva interfaz de usuario

En primer lugar se presenta la interfaz de usuario de la versión anterior de *Logikós*, realizando un recorrido por las vistas que conforman el proceso de creación de un perfil y observando los problemas de usabilidad antes descritos. Luego se introduce la interfaz de usuario utilizada en la nueva versión de *Logikós*, analizando las vistas equivalente para la creación de un perfil y los diferentes recursos que se utilizaron para solventar los problemas encontrados en la vieja versión.

Name 
On a budget

Comments 
Mid range phone on a budget.

Criteria



This decision profiles considers the following criteria. The flash icon indicates when smart judgement has been configured.

- Design  
- Price   
- Technical Specs.  
 - RAM  
 - Storage  
 - Undefined  

Local preferences

Move the checkmark closer to what you think is more important or better.		
Design	<<<<<<<<<->>>>>>> 	Price
Design	<<<<<<<<<->> 	Technical Specs.
Price	<<<  <<<<->>>>>>>	Technical Specs.

Figura 5.2: Vista de creación y edición de un perfil de comparación compartible.

En la figura 5.2 se observa la vista de creación y edición de un perfil de comparación de la versión clásica de *Logikós*. En la esquina superior izquierda se encuentra el nombre y la descripción del perfil en cuestión. En el lado derecho se ubica el listado de criterios y subcriterios del perfil. Es posible editar, eliminar y crear nuevos criterios; el icono del rayo en “Price” indica que este se encuentra configurado con una *Smart Ranking Strategies* para poder comparar alternativas de forma automática. En la parte inferior se encuentra el widget de comparación para los criterios de más alto nivel, en este caso “Design”, “Price” y “Technical Specs.”. Las prioridades se ven reflejados en el gráfico de torta que se puede observar en la misma pantalla.

subcriterio se accederá a la misma vista en la que ya nos encontrabamos, se deberán completar los datos referidos al subcriterio y volver a la vista de creación del criterio padre. Al ser la misma pantalla la navegación resulta confusa, más aún si la jerarquía contiene varios niveles de anidamiento y este recorrido por las mismas vista debe realizarse varias veces. La navegación puede tornarse más compleja aún si además de crear los criterios, es necesario configurar las estrategias de comparación de cada uno. Las vistas son muy simples pero la navegación torna muy compleja la interacción. En la nueva implementación de *Logikós* se optó por crear una única vista para realizar todo el proceso de creación o edición de un perfil de tal manera que el usuario no deba realizar una navegación compleja por varias pantallas. Dependiendo la acción que se este realizando, diferentes elementos de la página estarán disponibles; estos componentes permiten que el usuario logre identificar los diferentes aspectos del perfil sobre los que esta trabajando de forma independiente.

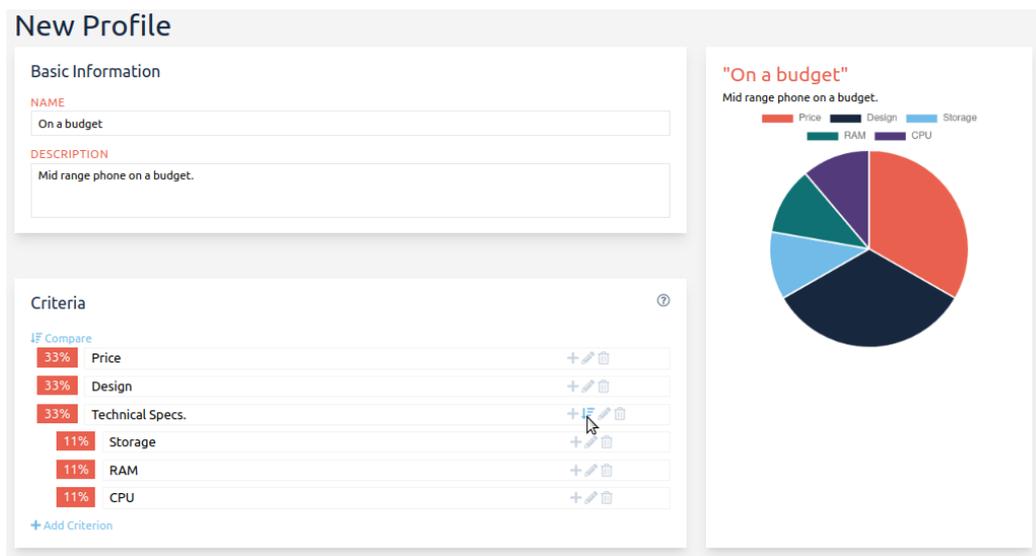


Figura 5.5: Vista de creación y edición de un perfil en la nueva implementación

La figura [5.5](#) muestra la vista de creación y edición de un perfil en la nueva implementación de *Logikós*. En la nueva interfaz cada componente puede identificarse fácilmente ya que se encuentra visualmente separado del resto; es así como hay un área para completar la información básica del perfil, otra donde se muestra un resumen del perfil que se esta creando de forma visual con un gráfico de torta y, separada, una sección donde es posible definir la jerarquía de criterios. En este último componente podemos observar que

además del nombre del criterio y su importancia dentro de la jerarquía, tenemos disponibles acciones como agregar, editar o quitar criterios y comparar un conjunto entre sí.

The image shows a user interface for creating criteria. At the top, there is a list of criteria with their respective percentages: Design (33%), Technical Specs. (33%), Storage (11%), RAM (11%), and CPU (11%). Below this list is a 'New Criterion' form. The form has a title 'New Criterion' and a help icon. It contains a 'NAME' field with the text 'A very important criterion'. Below the name field is a 'SET ATTRIBUTE?' checkbox, which is currently unchecked. A tooltip message reads: 'You should specify an attribute when the name of the criterion doesn't match the corresponding alternative field.' Below the checkbox is a 'Preset' section with a 'VALUE' field. At the bottom of the form, there is a '+ Add' button, a 'Save' button, and a 'Cancel' button.

Figura 5.6: Creación de criterios en la vista de creación de perfiles.

Al agregar/editar un criterio o realizar comparaciones no es necesario navegar a una nueva pantalla, simplemente se despliega el componente relativo a la acción debajo del actualmente activo, además las acciones que estaban disponibles sobre la jerarquía de criterios dejan de estar habilitadas momentáneamente hasta que la acción actual haya sido completada como se observa en la figura 5.6. Un cambio importante lo encontramos en el widget utilizado para realizar comparaciones que se puede observar en la figura 5.7. Este será analizado en detalle en el capítulo 7.



Figura 5.7: Comparaciones de criterios en la vista de creación de perfiles.

Siendo la creación de un perfil un proceso que puede extenderse de forma variable dada la naturaleza recursiva al definir la jerarquía de criterios, unificar la tarea en una sola vista evita que el usuario realice una navegación excesiva. A su vez esto implica un desafío en el diseño de la interfaz, la vis-

ta debe ser clara y altamente interactiva ya que la interfaz debe adaptarse continuamente a la etapa de la creación del perfil en la que se encuentra el usuario.

Capítulo 6

Reducción de las comparaciones

6.1. El problema

Si bien AHP es un método muy simple de entender y utilizar, el proceso puede volverse rápidamente engorroso por la cantidad de comparaciones en pares que es necesario realizar. Si se tienen C criterios y A alternativas y siendo el peor caso donde todos los criterios se encuentran distribuidos en un solo nivel de jerarquía tenemos que la cantidad total de comparaciones en pares a realizar es:

$$\frac{C^2 - C}{2} + C \frac{A^2 - A}{2} \quad (6.1)$$

A partir de esta fórmula es posible observar que si por ejemplo se tienen 3 criterios y 4 alternativas, es necesario realizar 21 comparaciones en pares. Si agregamos un criterio, el número de comparaciones se eleva a 40. Cuando el escenario analizado implica una decisión con un alto impacto, ya sea económico, ambiental o social, realizar este número de comparaciones es aceptable; el proceso se realizará una sola vez y la cantidad de tiempo consumido en la tarea es tolerable dada la importancia de la decisión que se debe tomar. Este no es el caso de la compra de productos online. Si bien la decisión tiene cierto impacto económico para el usuario, no es lo suficientemente importante como para invertir tanto esfuerzo en el proceso, más aún si este debe repetirse varias veces porque es necesario tener en cuenta otras alternativas.

Logikós provee dos formas de intentar mitigar el problema del alto número de comparaciones que los usuarios deben realizar en AHP. Por un lado se cuenta con los perfiles de comparación que describen para un decisión dada que criterios tiene en cuenta el autor y en que medida, esto permite que los usuarios de los perfiles no tengan que comparar los criterios entre sí, ya que estas comparaciones ya fueron hechas por el autor. Al ser compartibles, las comparaciones realizadas una sola vez por el autor pueden ser reutilizadas múltiples veces. El otro mecanismo utilizado para buscar reducir la cantidad de comparaciones son las *Smart Ranking Strategies (SRS)*. Esta metodología propone diferentes estrategias para comparar automáticamente los valores de las alternativas para un cierto criterio. Cada estrategia se adapta a ciertos tipos de comparaciones y permiten cierta flexibilidad a través de configuraciones parametrizables. En el desarrollo actual, la principal limitación de esta solución que es que los casos donde las estrategias existentes son aplicables son limitados:

1. Los valores son numéricos y pueden ser interpretados en base a su magnitud.
2. La diferencia entre dos elementos consecutivos es siempre la misma.
3. Todos los valores posibles se conocen de antemano y el autor debe realizar todas las comparaciones para que el usuario del perfil no deba hacerlas.

Para muchos criterios los valores posibles no pueden conocerse de antemano, no pueden ser interpretados en unidades numéricas y/o ser cuantificables objetivamente, por ejemplo el material de fabricación, el color, la ubicación de un terreno, si una característica esta presente o no (Bluetooth, NFC, camara autofocus, etc.), entre otros. Veremos más adelante que inclusive para criterios perfectamente cuantificables la comparación entre sus valores es relativa.

6.2. Análisis y creación de nuevas estrategias

Para buscar reducir la cantidad de comparaciones en pares se reanudó el trabajo ya realizado con las *Smart Ranking Strategies*, con el objetivo de mejorar las ya existentes y agregar nuevas estrategias que permitan abarcar más escenario.

6.2.1. Estrategias existentes

Logikós provee tres estrategias de comparación:

- **Normalized Numeric Difference:** trata el valor del atributo como un número y compara los valores por su magnitud.
- **Equally Spread Values:** Se conocen de antemano el conjunto de valores posibles y la diferencia entre dos elementos consecutivos es siempre igual. Se define un índice que indica la diferencia entre los elementos.
- **Stored Pairwise Comparisons:** comparación manual de todos los valores posibles de forma que el usuario no tenga que realizarlas. Todos los valores deben conocerse de antemano.

El principal problema de las primeras dos estrategias es que son aplicables a escenarios muy acotados: los valores deben representar una magnitud numérica (el peso por ejemplo) o los valores se encuentran distribuidos uniformemente. Como mencionamos anteriormente, muchos criterios no entran en estas categorías. Otro problema, no menor, es que la escala de AHP no cuenta con valores suficientes si estas estrategias se aplican en comparaciones que involucran a varios elementos o estos tienen valores muy dispares. Esta limitación es inherente de AHP, si se ven involucradas más de diez alternativas el proceso puede volverse impreciso debido a lo acotados que son los valores de su escala. La tercer estrategia es la más simple y más flexible de las tres ya que se puede adaptar a todo tipo de escenarios pero a su vez es la más tediosa para el autor del perfil. Las comparaciones siguen realizándose de forma tradicional, pero al ser realizadas por el autor pueden ser reutilizadas por todos los usuarios.

6.2.2. Análisis

Para formular nuevas estrategias o proponer mejoras sobre las ya existentes se examinaron diferentes criterios de comparación, la forma en que el sujeto decide si un elemento es mejor o peor que otro y en que medida de forma de identificar patrones en común. Se decidió desarrollar nuevas estrategias únicamente para los casos donde los elementos podían ser numéricamente cuantificables, ya que se consideraba inviable poder comparar automáticamente

valores abstractos y especialmente criterios sumamente subjetivos como el color o la marca de un producto.

Clasificación de criterios numéricos

Podemos clasificar los criterios numéricos en dos categorías:

- **Rango finito:** los elementos pueden asumir valores dentro un rango definido. Por ejemplo el precio, los valores pueden ser muy distintos entre los elementos pero siempre van a encontrarse dentro de un conjunto definido (un precio máximo y mínimo).
- **Conjunto discreto:** existe un conjunto acotado y definido de valores posibles. Por ejemplo la resolución de una pantalla; existen muchas resoluciones posibles pero estas se encuentran claramente definidas, la resolución de un dispositivo siempre va a pertenecer al conjunto de valores posibles.

El proceso de comparación para cada categoría va a ser diferente. Para los criterios con valores dentro de un conjunto discreto una vez definida la forma de comparar todos los pares de elementos del conjunto, basta con considerar solo aquellas comparaciones que involucran los elementos de la comparación que se esta realizando. Para los criterios con valores dentro de un rango finito el proceso es más complejo. El problema principal reside en que dos valores diferentes dentro del rango pueden ser considerados iguales o totalmente diferentes. Para ilustrar mejor este problema veamos el ejemplo de una hipotética estrategia llamada "NumericValue". Dado un conjunto de valores, la estrategia calcula la diferencia numérica entre estos y asigna valores correspondientes dentro la escala de AHP: si consideramos el precio y se tienen los valores \$200, \$700 y \$1000, NumericValue arrojaría que \$200 vs \$1000 es $1/5$ y \$200 vs \$700 es $1/3$ o $1/4$ en la escala de AHP. Desde un punto de vista puramente numérico podemos considerar que estos valores son correctos. Pero ¿que sucede si consideramos los precios en el contexto de una compra? Si queremos adquirir un celular y estamos considerando tres opciones A (\$24000), B (\$27000) y C (\$24500) muchas personas no considerarían que entre el celular A y el celular C hay una diferencia significativa de precio y entre el celular A y C la respuesta variaría dependiendo de persona en persona, seguramente una persona con un mayor presupuesto consideraría que

no hay tanta diferencia como aquellos buscando ahorrar. Si estamos considerando la compra de una casa, en cambio, una diferencia de \$10.000 o \$20.000 resulta insignificante.

Valores crecientes y decrecientes

Es necesario también considerar que dependiendo el elemento que se este representando, un valor numérico más alto puede significar mayor o menor importancia, por ejemplo si consideramos el rendimiento de kilómetros por litro de un auto, cuanto mayor sea el valor mejor será la eficiencia del vehículo; pero si consideramos el costo de un automóvil, cuanto menor es el costo más económico será el mismo. Lo mismo sucede con otras características: superficie de un terreno, autonomía de una batería, consumo eléctrico de un artefacto, latencia de respuesta de un dispositivo, etc. El problema se torna más complejo al considerar criterios donde un valor más alto o más bajo es mejor pero a partir de ciertos umbral sucede lo contrario, por ejemplo el tamaño de la pantalla de un celular. Una pantalla grande es, generalmente, más cómoda que una pequeña pero si esta es excesivamente grande, puede generar el efecto contrario. Otro ejemplo es la temperatura de un ambiente. Existe un umbral de temperatura ideal para una persona, cuanto más nos alejemos de este, la preferencia disminuirá, ya sea porque el ambiente se torne muy frío o muy caluroso.

Subjetividad

Al analizar criterios con valores numéricos, el enfoque más directo es comparar los elementos desde un punto de vista puramente de sus magnitudes: un mueble de 20kg es el doble de pesado que uno de 10kg, un terreno de $100m^2$ es un 33 % más pequeño que uno de $150m^2$, un motor de 450 watts consume 3.75 veces más que uno de 120 watts, etc. Simplemente se comparan números, es un enfoque sencillo y racional. Sin embargo, al realizar comparaciones las personas no perciben los valores de la misma forma. En muchas ocasiones no es posible realizar esta correspondencia al realizar comparaciones. Consideremos el escenario donde una persona quiere elegir comprar una computadora. Uno de los criterios que seguramente tendrá en cuenta es la memoria RAM. Existen muchos aspectos por los cuáles es posible comparar este componente: la capacidad, la frecuencia, la tasa de transferencia, la marca, el modelo, el precio, etc. Para simplificar nuestro ejemplo solo vamos

a considerar la capacidad. La capacidad se mide en Gigabytes (GB) y los valores más comunes son: 1GB, 2GB, 4GB, 8GB, 16GB y 32GB. Las computadoras de escritorio actuales pueden soportar una configuración de hasta un máximo de 128GB de memoria. Desde un punto de vista puramente técnico las capacidades pueden compararse según su magnitud: una computadora de 8GB de RAM tiene 8 veces más memoria que una de 1GB. No obstante, desde el punto de vista del usuario no sucede lo mismo, observemos el caso de un usuario promedio, que utiliza su computadora para navegar en internet, realizar tareas administrativas con herramientas offimaticas, ver películas y escuchar musica.

Comparación	Comparación numérica	Comparación del usuario
4GB vs 8GB	1/2	1/2
4GB vs 16GB	1/4	1/4
4GB vs 32GB	1/8	1/5
4GB vs 64GB	1/9	1/5
4GB vs 1GB	4	4
4GB vs 2GB	2	4

Cuadro 6.1: Comparaciones de a pares de 4GB de RAM con otras capacidades posibles según comparación numérica y según un usuario.

La tabla [6.1](#) ilustra las comparaciones en pares entre 4GB de RAM y el resto de las capacidades disponibles. En la segunda columna de la tabla se muestran los resultados de las comparaciones al realizar una interpretación numérica de los valores mientras que en la tercera columna se listan los valores asignados por un usuario al realizar cada comparación individualmente. Se utiliza 4GB de RAM como referencia ya que se considera el valor mínimo para tener una experiencia de uso aceptable en la actualidad. Vemos que para “4GB vs 8GB” y “4GB vs 16GB”, los valores de las dos columnas son iguales, pero a partir de los 16GB se observa que los valores divergen. Para la primera columna los valores siguen una escala progresiva hasta que para “4GB vs 64GB” se asigna el valor 1/9, ya que es el máximo valor de la escala AHP. En la tercera columna, en cambio, vemos que los valores se mantienen estables ¿Que sucede? A pesar de que la cantidad de RAM aumenta, superado un limite las capacidades tienen la misma valoración para el sujeto, por el tipo de tareas que realiza el usuario 16GB de RAM son más que suficientes. Su experiencia de uso no va a cambiar con 32GB o 64GB por lo que desde su punto de vista, las magnitudes son iguales. Si el sujeto fuese un diseñador gráfico o un amante de los videojuegos probablemente 4GB sean demasiado poco y entre 16GB y 64GB haya una gran diferencia. Las valoraciones varían por cada usuario ya que las necesidades de cada uno

son diferentes. Lo mismo sucede en tantos otros ejemplos, para una familia de cuatro un departamento de dos habitaciones no tendrá el mismo valor que para un soltero, una persona con un presupuesto de \$50000 para comprar un celular encontrará igualmente caros un modelo de \$120000 y uno de \$170000, para un maratonista profesional correr 12km es poco pero para un corredor amateur que recién comienza a entrenar será un exceso. La escala de AHP establecida por Saaty corresponde valores numéricos con definiciones que representan la percepción del sujeto sobre la comparación de los elementos, de esta forma es posible realizar comparaciones complejas representando el punto de vista del usuario. Este es un aspecto clave de la toma de decisión. Es deseable que una decisión sea informada, que surja de un análisis exhaustivo de cada alternativa, sin embargo al ser la decisión tomada por seres humanos debe ser posible poder representar la visión personal de cada individuo.

Panorama

A partir de los escenarios descritos, podemos deducir que diseñar una nueva estrategia es una tarea compleja. La estrategia de comparación debe ser lo suficientemente flexible para reflejar todo tipo de escenarios pero a su vez debe mantener un nivel de usabilidad aceptable. En este último aspecto reside la mayor dificultad. Al existir tantas formas de expresar la comparación de un conjunto de elementos, especialmente por los diversos puntos de vista de cada sujeto, el usuario de la estrategia debería tener que especificar una gran cantidad de parámetros, esto genera que el proceso de configuración de una estrategia sea largo, difícil de entender el propósito de cada parámetro y complicado presentar la tarea de una manera simple. El proceso sería complejo de comprender para el usuario y en consecuencia tedioso para este realizarlo. Hay que tener en cuenta que si la cantidad de parámetros a configurar por el usuario es igual o similar a la cantidad de comparaciones que este debería realizar de la forma tradicional, la estrategia pierde su sentido, ya que difícilmente disminuiría el esfuerzo requerido. Si se opta por disminuir la cantidad de parámetros de una estrategia, esta será más rígida arrojando resultados que tal vez no sean satisfactorios para el usuario. Es posible, por otro lado, crear múltiples estrategias más simples que sirvan para diferentes escenarios pero probablemente el usuario tenga que buscar entre un conjunto grande de estrategias cual es la que mejor se adapta al escenario.

6.3. Nuevo enfoque

Durante la etapa de investigación y debido a las dificultades encontradas para desarrollar nuevas estrategias que realicen las comparaciones de las alternativas de forma automática, se comenzaron a analizar otras opciones. Ya que es difícil desarrollar un método que simule las comparaciones que realizaría una persona, podemos enfocarnos en el objetivo que este buscaba resolver: simplificar el proceso de comparación de tal forma que sea más fácil para el usuario utilizar el método AHP. Si logramos reducir la cantidad de comparaciones y las que deban realizarse impliquen un proceso más sencillo estaríamos alcanzando el mismo objetivo.

6.3.1. Transitividad de la matriz de decisión

Consistencia

Como vimos en capítulos anteriores, al realizar las comparaciones en pares, una persona puede expresar su preferencia por algún elemento sobre otro en la magnitud que esta lo considere. A pesar de que estas decisiones puedan ir en contra de la opinión general o ser consideradas erróneas por otros usuarios, es necesario recordar que la persona es la que esta comparando los elementos y por lo tanto, manifestando su punto de vista. El método AHP solo asiste en la tarea descomponiendo la decisión en múltiples subdecisiones más pequeñas y manejables para llegar, eventualmente, a un resultado de acuerdo a lo expresado. Un usuario que pondere los criterios equivocados o que sus comparaciones nazcan de un análisis poco informado para privilegiar la intuición, probablemente llegue a tomar una decisión riesgosa o equivocada, no obstante, no se puede considerar que el error reside en AHP. El método arroja los resultados correctos siguiendo las preferencias del usuario. Sin embargo, aunque el usuario tiene la libertad de expresar sus preferencias, estas deben ser consistentes entre sí, no pueden ser contradictorias.

Los valores de las comparaciones en pares pueden ser dispuestos en una matriz de decisión. Esta se considera consistente si cada celda cumple la siguiente propiedad:

$$a_{ik} = a_{ij} * a_{jk} \quad (6.2)$$

Como se observa gráficamente en la figura 6.1, cada celda es igual al producto entre cada celda de su fila con el correspondiente celda de la columna:

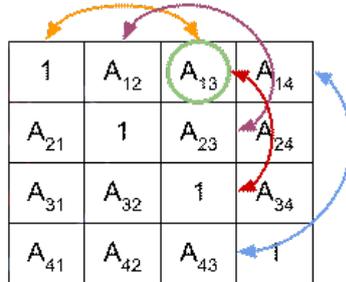


Figura 6.1: Representación gráfica de la formula de propiedad de la consistencia de una matriz de decisión en AHP aplicada a la celda A_{13}

Formula de transitividad

Es posible utilizar la propiedad de la consistencia para identificar que valores debería tener una comparación a partir de otras dos disponibles. De esta manera es viable mantener un alto nivel de consistencia en la matriz. Despejando los términos podemos llegar a dos variantes:

$$a_{jk} = a_{ik} / a_{ij} \tag{6.3}$$

$$a_{ij} = a_{ik} / a_{jk} \tag{6.4}$$

Si analizamos con detenimiento las formulas podemos observar que teniendo una fila o una columna completa de la matriz, es decir las comparaciones de un elemento con respecto a todos los restantes, es posible derivar el resto de los valores de esta utilizando este método. Podemos deducir también que a medida que se vayan definiendo más valores en la matriz de adyacencia, más acotados se verán los valores posibles de las comparaciones (celdas) aún por definir de tal manera que se mantenga un nivel aceptable de consistencia. Nos referiremos a cualquiera de estas dos variantes de la ecuación como *Formula de Transitividad*.

Veremos a continuación un ejemplo de la aplicación de la *Formula de Transitividad* sobre una matriz de 4x4. El primer paso necesario para aplicar la

formula es contar con una fila o columna de la matriz completa, en la figura [6.2](#) observamos que la primera fila se encuentra completa, esta corresponde a las comparaciones de la alternativa A_1 con las restantes: A_1vsA_2 , A_1vsA_3 y A_1vsA_4 . Es importante recordar que los valores debajo de la diagonal principal de la matriz son opuestos a los que se encuentran en la parte superior de la diagonal principal. Aunque en este caso se completó la primera fila de la matriz podría haber sido cualquier otra.

	A_1	A_2	A_3	A_4
A_1	1	1/3	4	1/2
A_2	3	1	1	1
A_3	1/4	1	1	1
A_4	2	1	1	1

Figura 6.2: Ejemplo de la formula de transitividad. Paso 1: Una fila completa.

A continuación se comienza a aplicar la *Formula de Transitividad* para completar las comparaciones restantes, que en este caso son: A_2vsA_3 , A_2vsA_4 y A_3vsA_4 (las celdas que aún contienen un 1 arriba de la diagonal principal). En la figura [6.3](#) podemos observar el autocompletado de la segunda fila de la matriz. El valor 9 en la celda $A_{23}(A_2vsA_3)$ es el resultado de dividir el valor 4 de la celda A_{13} por el valor 1/3 de la celda A_{12} , ya que el número resultante 13 excede el rango de valores de la escala AHP se utiliza 9 que es el máximo disponible. Para la celda $A_{24}(A_2vsA_4)$, en cambio, el valor 1 es el resultante de dividir el valor 1/2 de la celda A_{14} con el valor 1/3 de la celda A_{12} .

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
A ₁	1	1/3	4	1/2
A ₂	3	1	9	1
A ₃	1/4	1/9	1	1
A ₄	2	1	1	1

Figura 6.3: Ejemplo de la formula de transitividad. Paso 2: Autocompletado de la fila 2.

Finalmente en la figura [6.4](#) podemos observar la matriz ya completa luego de haber calculado la ultima fila correspondiente a la comparación A_3 vs A_4 ; esta tiene el valor $1/8$ correspondiente al resultado de la división del valor $1/2$ de la celda A_{14} y el valor 4 de la celda A_{13} . Podríamos haber obtenido un resultado similar utilizando los valores de la fila 2 (A_{24}/A_{23}).

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
A ₁	1	1/3	4	1/2
A ₂	3	1	9	1
A ₃	1/4	1/9	1	1/8
A ₄	2	1	8	1

Figura 6.4: Ejemplo de la formula de transitividad. Paso 3: Autocompletado de la fila 3.

Al realizar los cálculos de consistencia sobre la matriz resultante se obtiene un *Consistency Ratio (CR)* de 0.01, un nivel de consistencia casi perfecto; esta ligera inconsistencia se debe al valor fuera de rango que se había obtenido para el calculo de la celda A_{23} .

Con la *Formula de Transitividad* tenemos una forma de reducir las comparaciones en gran medida. Dado un número A de alternativas, mientras que con el método clásico un usuario debía realizar $\frac{A^2-A}{2}$ comparaciones, con este nuevo método solo es necesario realizar $A - 1$ comparaciones. En el ejemplo antes

visto, con 4 alternativas se redujeron de 6 a 3 la cantidad de comparaciones a realizar. Si hubiesen sido 7 las alternativas, de 21 comparaciones se tendrían que hacer solamente 6. Otro aspecto importante a destacar que proporciona esta nueva metodología es el de asegurar un nivel de consistencia alto. Si utilizamos la forma clásica de realizar comparaciones en pares de AHP, una vez realizado todo el proceso de comparación, si la consistencia de la matriz de decisión no es aceptable, el usuario debe revisar los valores de cada comparación, rectificándolos de tal forma de llegar a un nivel de consistencia deseado. Esto no solo ralentiza el proceso, sino que además resulta repetitivo para el individuo, ya que debe revisarse con detenimiento un conjunto de valores que se consideraban ya definidos. Las correcciones puede realizarla el usuario manualmente pero esto implica que este realice un proceso de prueba y error hasta alcanzar una consistencia aceptable. También se puede realizar un análisis sobre los valores y buscar donde se encuentran las inconsistencias, pero muchas veces este análisis puede ser complejo e implica que el usuario se interiorice con conceptos como la consistencia, la relación entre las comparaciones en pares, etc. Muchos *Decision Support System (DSS)* proveen algoritmos de corrección automática que proponen al usuario los cambios a realizar sobre la matriz para alcanzar un nivel de consistencia aceptable, pero como sucede con el proceso manual, el usuario debe aceptar las modificaciones sin comprender en que se basan. Con la *Formula de Transitividad* vamos a obtener en la mayoría de los casos una matriz consistente. No es necesario que el usuario realice correcciones o entienda el concepto de consistencia, las mismas comparaciones que podrían generar inconsistencia definen su valor utilizando la transitividad de la matriz, es decir basandose en lo expresado por el usuario en otras comparaciones.

6.3.2. Reimplementación del widget de comparación

Los *Decision Support System (DSS)* generalmente presentan los mismos widgets para realizar las comparaciones en pares. En las figuras [6.5](#) y [6.6](#) se pueden observar dos tipos diferentes de widget que provee “SuperDecisions”, un sistemas de soporte de decisiones. Vemos que la primera modalidad llamada “Matrix” es una representación gráfica de la matriz de decisión que permite completar las celdas superiores a la diagonal principal.

La otra modalidad se denomina “Questionnaire”, esta consiste en presentar una tabla donde cada fila representa una comparación en pares. En cada fila se muestran en cada extremos el par de elementos y entre estos un rango de

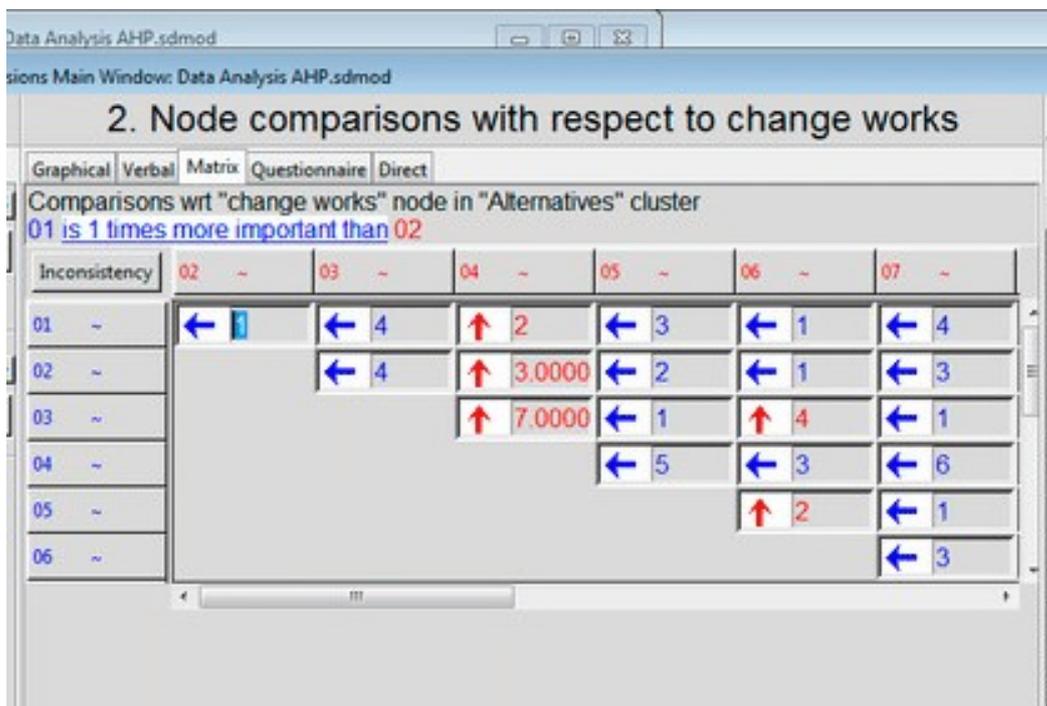


Figura 6.5: Widget de comparación tipo Matrix de SuperDecisions.

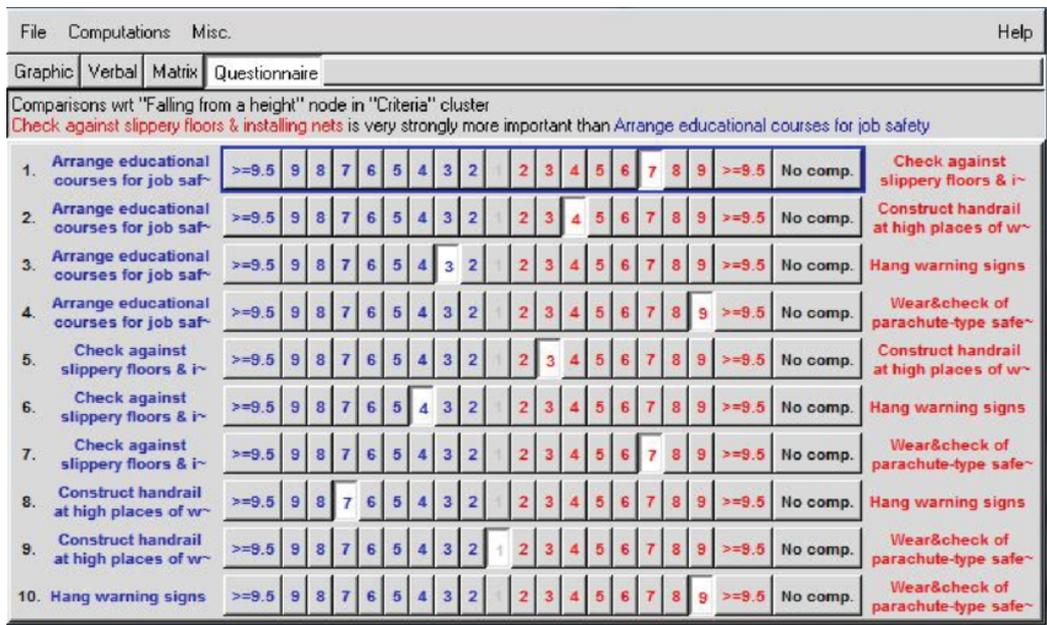


Figura 6.6: Widget de comparación tipo Questionnaire de SuperDecisions.

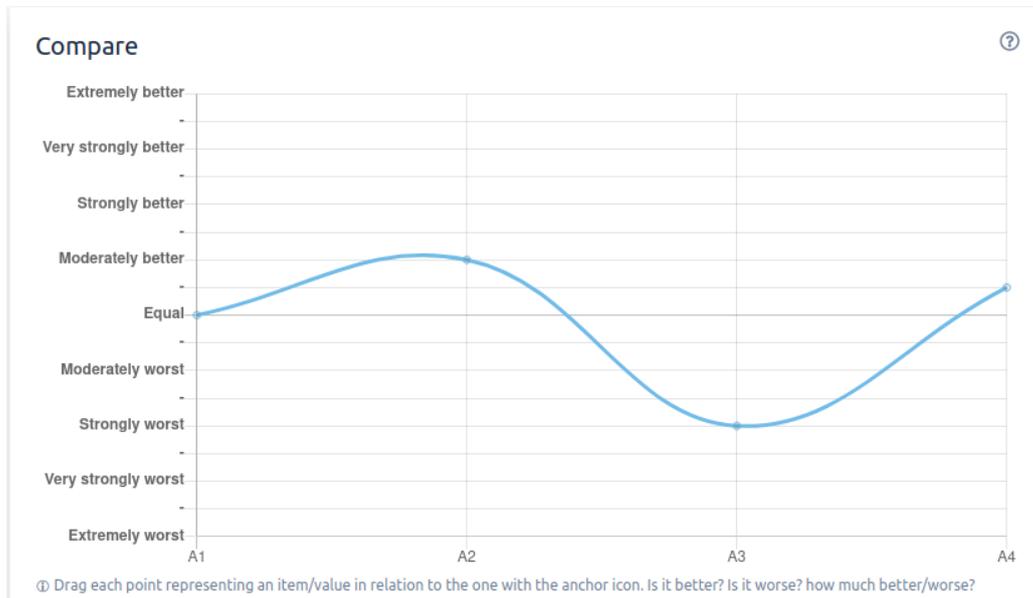


Figura 6.8: Widget de comparación propuesto para la nueva implementación de Lógikos.

alternativa A2 es mejor, la alternativa A3 mucho peor y la alternativa A4 ligeramente mejor a A1. Esta representación también permite ver fácilmente la relación entre todos los puntos: A2 es la mejor alternativa, A3 la peor y tanto A1 como A4 son similares. Es posible para el usuario cambiar el punto de ancla tomando otra alternativa como punto de referencia en cualquier momento del proceso y de esta manera visualizar las comparación desde otro punto de vista.

6.3.3. Nuevo flujo de trabajo

En la nueva implementación de *Logikós* se planteó un nuevo proceso de trabajo utilizando la *Formula de Transitividad* y el nuevo widget de comparaciones en conjunto con conceptos de las *Smart Ranking Strategies*. En este nuevo enfoque, el autor de un perfil puede optar por realizar las comparaciones de todos los valores posibles para un criterio de la misma forma que con la estrategia *Stored Pairwise Comparisons* pero con la ventaja de poder reducir la cantidad de comparaciones y que estas sean más fáciles de realizar utilizando el widget de comparación y la *Formula de Transitividad*. Llamaremos a estas comparaciones precargadas *preset*. Luego de haber seleccionado el perfil y las alternativas correspondientes, el usuario puede ahorrarse el trabajo de realizar las comparaciones para aquellos criterios del perfil que cuenten con

un preset. En caso de no contar con un preset o si el usuario no esta de acuerdo con las comparaciones realizadas por el autor del perfil, puede realizar las comparaciones de los elementos utilizando las mismas herramientas que el autor utilizó. De esta manera, el preset puede interpretarse como una representación de la recomendación que hace un usuario experto (el autor del perfil) al usuario del perfil sobre una decisión en particular. El usuario es libre de utilizarlo o discernir y plasmar su propio punto de vista.

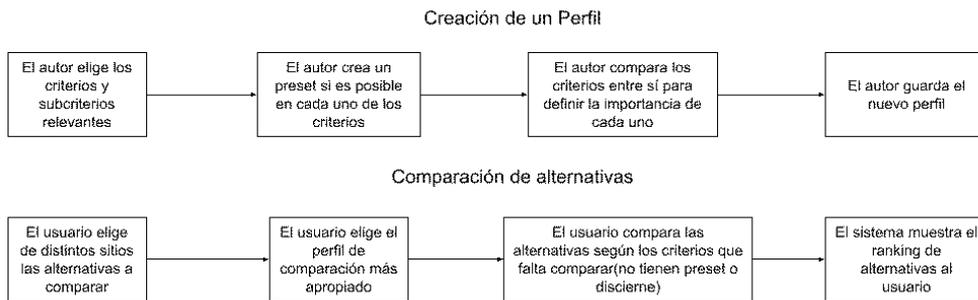


Figura 6.9: Nuevo flujo de trabajo propuesto

Para todas las comparaciones, tanto las realizadas al crear el perfil (ponderaciones de los criterios y armado de los preset) como al comparar las alternativas según los distintos criterios, se utiliza el nuevo widget de comparación y la *Formula de Transitividad*. De esta manera, el número total de comparaciones se ven drásticamente reducidas y aseguramos un nivel de consistencia aceptable.

6.3.4. Ventajas

Esta nueva metodología ofrece múltiples ventajas. Como se mencionó anteriormente la *Formula de Transitividad* permite reducir el número de comparaciones que debe realizar el usuario y a su vez que la matriz de decisión resultante tenga un nivel de consistencia aceptable. El nuevo widget de comparaciones provee una forma más interactiva de realizar las comparaciones y a la vez una representación visual de la relación entre las alternativas siendo mucho más intuitivo de utilizar para el usuario. Al recaer el proceso de comparación sobre el autor y los usuarios de los perfiles, el nuevo método es capaz de reflejar fielmente el punto de vista del sujeto. Finalmente, mientras que con las *Smart Ranking Strategies* nos limitábamos a comparar valores

numéricos, con el nuevo método podemos comparar cualquier tipo de elemento, inclusive aquellos puramente subjetivos.

6.3.5. Implicaciones de la Formula de transitividad

Con la *Formula de Transitividad* podemos autocompletar la matriz de decisión. Cada celda cuyo valor ha sido calculado corresponde a una comparación en pares que el usuario antes debía definir. Una pregunta que inevitablemente surge es ¿La *Formula de Transitividad* toma decisiones por el usuario? Si este es el caso ¿Es correcto que así sea?

Utilizando AHP de la forma tradicional, después de realizar las comparaciones, si la matriz no es consistente, el usuario debe llevar a cabo las correcciones pertinentes para que esto suceda. Ya que las comparaciones se encuentran estrechamente relacionadas entre sí, a medida que el usuario completa la matriz, los valores posibles para las comparaciones restantes se ven rápidamente limitados. Como se mencionó anteriormente, existen algoritmos para la corrección de matrices que ajustan los valores de las comparaciones con el objetivo de llegar a un nivel de consistencia adecuado. Aunque estas correcciones buscan realizar la menor cantidad de cambios posibles en la matriz, cada una de estas modificaciones implica la alteración de una opinión previamente declarada por el usuario. Esto es aceptable porque de otra manera el proceso sería largo y el análisis de inconsistencia complejo. La *Formula de Transitividad* realiza un balance similar. Se reduce el número de comparaciones a realizar por el usuario de tal forma que el proceso sea más simple, rápido y con un nivel alto de consistencia, pero no lo suficiente para que el sujeto pierda expresividad sobre las comparaciones. Los valores que debe calcular la formula se encuentran fuertemente acotados a raíz de las comparaciones ya realizadas por el usuario, por lo que las diferencias van a ser ínfimas con respecto a una matriz consistente completada de forma manual.

Capítulo 7

Reimplementación de Logikós

7.1. Componentes

Logikós se estructura por diferentes componentes que proveen las diferentes funcionalidades disponibles en el sistema.

7.1.1. Extensión Web

La extensión web es el principal frontend de la aplicación. Una vez instalada, el usuario puede agregar a su colección de alternativas aquellos productos que le interese adquirir desde la interfaz del complemento. Al finalizar con la selección de productos, se elige el perfil de comparación que resulte más apropiado. De cada perfil se muestra en detalle que criterios se toman en cuenta en la comparación y cuanta importancia tiene cada uno. Si es necesario, pueden realizarse comparaciones entre los productos de acuerdo a algún criterio o reajustar alguna comparación ya realizada por la herramienta. Al finalizar el usuario obtiene un ranking de los productos. Desde el punto de vista de la interfaz y las funcionalidades disponibles, el complemento web es un componente muy simple. Esto debe ser así ya que debe resultarles fácil de utilizar a los usuarios. El formato de extensión web permite integrar la toma de decisión sobre el propio proceso de shopping online, proporcionando una capa de *Aumentación Web* que permite un fácil acceso a las funcionalidades provistas por *Logikós*, sin salir del navegador e inclusive del sitio que se esta visitando. Al tratarse de una extensión web esta debe implementarse en

Javascript, HTML y CSS utilizando la implementación de la *WebExtensions API* de cada navegador.

7.1.2. Panel de administración

Desde el panel de administración los usuarios pueden crear perfiles de toma de decisión y publicarlos para que otros usuarios luego puedan utilizarlos desde la extensión web. Este componente es una aplicación web que puede ser accedida a través de una URL o utilizando un link disponible en la extensión web.

7.1.3. Servidor: API y base de datos

Tanto para la consulta de perfiles desde la extensión web como la gestión de estos en el panel de administración, se utiliza un servidor que expone una *API REST*. La información es almacenada en una base de datos.

7.2. Tecnologías utilizadas en *Logikós*

Originalmente *Logikós* fue implementado en *Seaside*, un framework para desarrollo de aplicaciones web en el lenguaje de programación Smalltalk. *Seaside* es tanto el framework como el *Integrated Development Environment (IDE)* que provee al programador de las herramientas necesarias para el desarrollo de aplicaciones en esta tecnología. *Seaside* provee una serie de abstracciones sobre HTTP y HTML que permiten construir aplicaciones altamente interactivas de forma rápida con código reusable y mantenible:

- **Generación de HTML de forma programática:** permite la generación de HTML a través de una API que permite la creación de código XHTML seguro, siendo posible hacer uso de constructores del lenguaje de programación subyacente para crear vistas complejas de forma rápida y amigable.
- **Manejo de request con callbacks:** permite asociar bloques de código a links o inputs de formularios que serán ejecutados al ingresar al link o submitir el formulario.

- **Componentes embebidos:** es posible construir la UI a través de componentes que son capaces de mantener un estado. Estos encapsulan las diferentes partes que constituyen una página web y pueden ser reusables.
- **Gestión de sesión y estado de la aplicación:** la característica más destacable de Seaside es que provee mecanismos que permiten mantener múltiples estados a lo largo de los requests de forma totalmente transparente para el usuario, solventando así las limitaciones que impone HTTP al ser un protocolo stateless. De esta manera el flujo de trabajo de la aplicación es continuo, cada componente trabaja de forma independiente e interactúa con el resto de la aplicación como un objeto o subrutina más.

Si bien esta capa de abstracción provee muchas funcionalidades que pueden resultar muy atractivas para un desarrollador, esta se encuentra fuertemente embebida en el framework por lo que puede resultar complejo integrar herramientas alternativas o utilizar tecnologías más actuales como por ejemplo librerías javascript como React, Angular o Vue.js. Es necesario también tener en cuenta que Smalltalk es un lenguaje con una comunidad y soporte mucho menores a otros existentes, por lo tanto puede resultar difícil implementar nuevas funcionalidades en el sistema o contar con soporte para librerías o tecnologías más actuales.

7.3. Modelo de datos

Al realizar la reimplementación de *Logikós* se reimplementó el modelo de datos. En AHP deben realizarse comparaciones en pares entre diferentes conjuntos de criterios y entre las alternativas. El resultado de estas comparaciones se disponen en una matriz de adyacencia a través de la cual es posible derivar el ranking de las alternativas con respecto a la decisión que se esta evaluando.

La figura [7.1](#) ilustra el diagrama *UML* de clases de la nueva implementación de *Logikós*. Un Profile (perfil) tiene un nombre, una descripción y una colección de Criterion (criterios). Cada Criterion tiene un nombre, un peso o prioridad, un conjunto de Criterion (los subcriterios) y una referencia al criterio padre del cual deriva, salvo los criterios de primer nivel que pertenecen

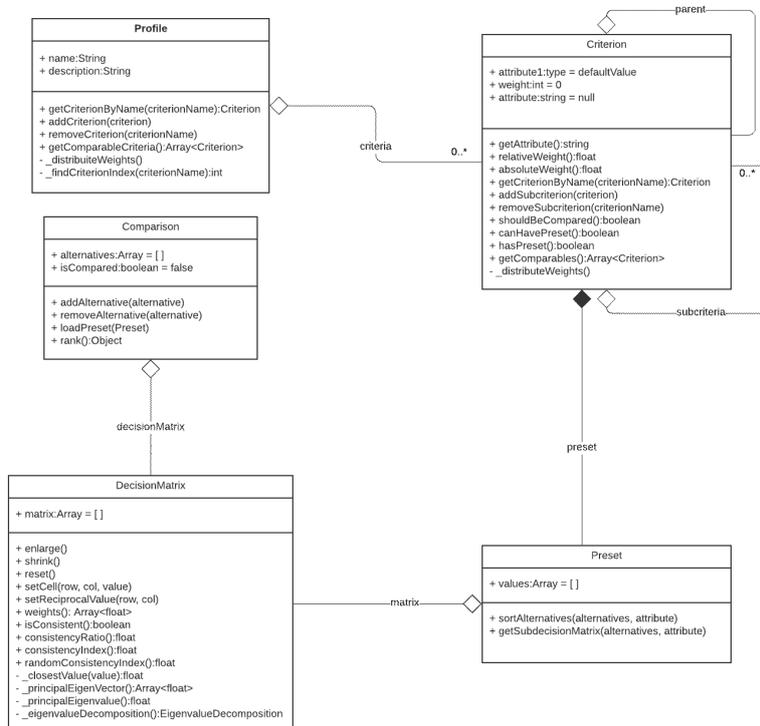


Figura 7.1: Diagrama de clases UML del modelo de datos

directamente al perfil por lo que no tienen padre. Desacoplados del perfil y los criterios se encuentra Comparison (comparación). Un Comparison representa las comparaciones en pares de un conjunto de elementos, en AHP se comparan criterios y alternativas pero podría compararse cualquier conjunto de objetos. Una comparación contiene una DecisionMatrix (Matriz de decisión) con los valores de las comparaciones en pares. A partir de una comparación es posible obtener un ranking (Ranking), el cual contiene la colección de elementos y sus correspondientes prioridades/pesos. Una DecisionMatrix es una representación de la definida por AHP. Internamente contiene una matriz cuadrada de valores numéricos. Es posible setear el valor de una celda y su correspondiente recíproca, obtener un vector de prioridades y realizar los correspondientes cálculos de consistencia. Finalmente un Criterion puede contener un Preset, este representa una precomparación de todos los valores posibles para ese criterio. El creador de perfiles puede agregar un preset a un criterio de tal manera que el usuario del perfil, al realizar la comparación de un conjunto de alternativas ya las tenga comparadas de acuerdo al criterio del autor del perfil. Si el usuario no está de acuerdo con esta comparación automática puede modificarla para ajustarla mejor a sus propios criterios. Un Preset contiene todos los valores posibles y una matriz de adyacencia con las comparaciones de a pares entre ellos.

7.4. Nuevo stack tecnológico

7.4.1. Frontend: Nuxt.js

El frontend de *Logikós* es simple pero implica un alto nivel de interacción con el usuario en sus diferentes vistas. Para la creación de un perfil es necesario especificar la jerarquía de criterios, donde puede haber varios niveles de anidamiento y es necesario realizar varias comparaciones por cada nivel. Debe ser posible agregar, editar, quitar y cambiar las ponderaciones de criterios y subcriterios rápidamente. Al comparar productos el usuario debe poder agregar y quitar elementos, elegir el perfil que le resulte más apropiado y obtener el ranking de alternativas de forma simple e intuitiva. Dados estos requerimientos se decidió que la mejor opción era utilizar una librería de Javascript para desarrollar una *Single Page Application (SPA)*. Se eligió *Nuxt.js*, un framework basado en *Vue.js*, ya que es una herramienta que cuenta con varias características que permiten crear rápidamente interfaces de usuario utilizando *web components*, cuenta con soporte para *data binding*

y manejo de eventos de forma sencilla. Otro aspecto no menor es que la comunidad de usuarios para esta herramienta es muy grande, habiendo mucha documentación disponible sobre como utilizar el framework o solución a posibles errores con los que uno se puede llegar a topar durante el proceso de desarrollo. Siendo una tecnología tan extendida es muy sencillo integrarla con otras librerías que sean necesarias.

7.4.2. Servidor: Express.js

El servidor de *Logikós* expone una *API REST* que se limita a proveer operaciones simples sobre perfiles: listado, altas, bajas y modificaciones. Al no existir una capa de lógica compleja entre el cliente y la capa de datos, se pueden considerar todo tipo de herramientas para realizar la implementación de este componente. Se optó por *Express.js* para el desarrollo del servidor de *Logikós*, un web framework de *Node.js* muy extendido. De esta manera tanto el cliente como el servidor están implementados en Javascript.

7.4.3. Base de datos: MongoDB

MongoDB es un sistema de base de datos NoSQL, basado en documentos que utilizan formato *BSON*, un formato similar a *JSON*, con un esquema dinámico que permite rápida integración de datos y alta escalabilidad. Se eligió esta herramienta por diversas razones:

1. El modelo de datos se adapta perfectamente a las fortalezas de MongoDB: no es relacional y altamente heterogéneo. Un perfil contiene criterios que a su vez pueden contener subcriterios, esta relación entre el perfil y sus criterios y los criterios con sus subcriterios es uno a uno por lo que puede almacenarse la estructura completa en un solo documento en la base de datos, sin la necesidad de declarar schemas o migraciones.
2. La API del servidor de *Logikós* recibe y envía datos en formato *JSON*, el mismo formato aceptado por el driver de MongoDB para Node.js, por lo que no es necesario realizar una serialización y deserialización de los datos simplificando la lógica de la API.
3. MongoDB y Node.js es un stack ampliamente utilizado, existe abundante documentación y madurez en la utilización de las herramientas

en conjunto (por ejemplo el *MEAN* stack) por lo que es fácil encontrar recursos y resolver problemas comunes.

7.5. Implementación y puesta en producción

El código fuente del proyecto se encuentra disponible en la plataforma de desarrollo colaborativo *GitHub*. La URL del repositorio de git es: <https://github.com/lifia-unlp/logikos>

El sistema fue puesto en producción para realizar demostraciones y conducir el experimento sobre los sujetos. Tanto el frontend (panel de administración) como el backend (servidor de perfiles) fueron contenerizados utilizando *Docker* de tal manera que puedan empaquetarse y ejecutarse en cualquier tipo de entorno. Se utilizó la plataforma *Heroku* para el despliegue de estas aplicaciones ya que cuenta con soporte para *Docker* y su plan gratuito es más que suficiente para las pruebas requeridas. Para la base de datos se utilizó la plataforma *MongoDB Atlas* que provee un plan gratuito más que satisfactorio para el volumen de datos que iban a almacenarse.

Capítulo 8

Pruebas y encuestas

8.1. Hipótesis

A través del experimento realizado se buscaron demostrar las siguientes hipótesis:

1. El nuevo widget para realizar comparaciones es más fácil de utilizar para los usuarios que el clásico.
2. El nuevo widget arroja comparaciones consistentes con mucha más frecuencia que el enfoque clásico.
3. Con el nuevo widget es posible realizar las comparaciones necesarias más rápidamente.

8.2. Experimento

El experimento se condujo sobre un conjunto de participantes sin conocimientos previos sobre métodos de toma de decisiones multicriterio. El objetivo del experimento es comprobar si el nuevo enfoque para comparar elementos es más fácil de utilizar que la forma clásica, el proceso de comparación resulta menos tedioso y los resultados obtenidos tienen un alto nivel de consistencia.

8.2.1. Diseño

Cada evaluación se realizó de forma individual trabajando con un participante a la vez. Se utilizó un diseño *Within-Subjects* para el estudio, es decir que cada sujeto debió testear cada una de las herramientas de comparación. A cada participante se le presentaron dos escenarios de toma de decisión que debieron plasmar en *Logikós*; uno utilizando el widget de comparación tradicional y el otro con el nuevo widget. Para evitar el efecto de orden, es decir un mejor o peor desempeño al realizar la tarea por segunda vez, ya sea por efectos de aprendizaje, aburrimiento o fatiga, la asignación del escenario y el orden de utilización de los widgets varía de sujeto en sujeto.

Escenario A - widget clásico	Escenario B - widget nuevo
Escenario A - widget nuevo	Escenario B - widget clásico
Escenario B - widget clásico	Escenario A - widget nuevo
Escenario B - widget nuevo	Escenario A - widget clásico

Cuadro 8.1: Combinaciones posibles de escenarios y widgets

La tabla [8.1](#) ilustra todas las combinaciones entre asignación de escenarios y widgets que debió abarcar el experimento. Los dos escenarios propuestos buscan presentar situaciones muy diferentes entre sí pero con un grado de dificultad similar para ser reproducido en las herramientas. En cada situación se deben comparar cuatro alternativas con respecto a dos criterios. Un criterio implica comparaciones que tienden a ser objetivas (por ejemplo el precio), mientras que el otro a comparaciones subjetivas (por ejemplo la marca).

Como lo único que se desea testear es el uso de los diferentes métodos de comparación, a cada participante se le proporcionaron de antemano los perfiles relativos a cada escenario ya cargados en la plataforma, junto con las alternativas que deben comparar. De esta forma no es necesario que los usuarios tengan conocimientos sobre métodos de toma de decisión o deban aprender conceptos relativos a *Logikós* como perfiles de comparación o *Smart Ranking Strategies (SRS)*.

Fase de prueba

Antes de comenzar a trabajar sobre cada uno de los escenarios, a los participantes se les explicó como utilizar el widget de comparación que sería usado

a continuación. Haciendo uso de un escenario de ejemplo, tuvieron la oportunidad de aprender a familiarizarse con la herramienta y solventar dudas básicas que pudiesen tener.

Representación del escenario

Al finalizar la fase de prueba a cada usuario se le presentó el escenario que tenía que representar. Como se mencionó anteriormente, en cada escenario deben realizarse las comparaciones de las alternativas de acuerdo a dos criterios diferentes de forma separada. Una vez que el usuario manifestó haber completado las comparaciones correspondientes, se tomó nota de la matriz de decisión resultante y su CR , el tiempo que tomó completar el escenario y por cada criterio el tiempo y la cantidad de interacciones (clics) realizadas con la herramienta de comparación utilizada.

Cuestionario

En conjunto a los escenarios de toma de decisión a cada participante se le solicitó completar un cuestionario. Se realizó el mismo conjunto de preguntas por cada uno de los escenarios. Al finalizar el trabajo con los dos escenarios se realizaron una serie de preguntas comparativas.

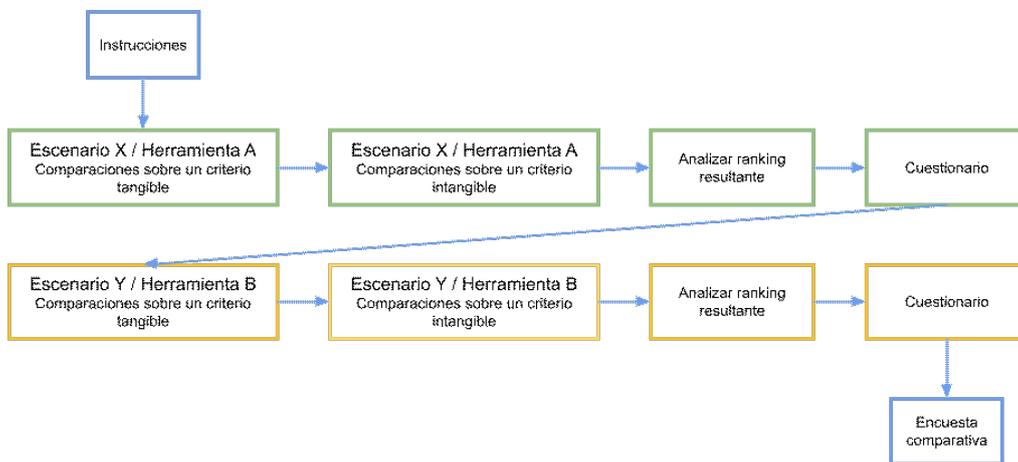


Figura 8.1: Flujo del experimento

Tanto los escenarios como el cuestionario se encuentran anexados en este documento.

8.3. Resultados

Se condujo el experimento sobre un conjunto de 30 participantes. A partir de las mediciones y los cuestionarios realizados pudieron recabarse los resultados que se van a listar a continuación.

8.3.1. Tiempo y número de interacciones

Si se analizan los resultados obtenidos en el contexto de cada uno de los escenarios es posible observar resultados similares: el tiempo requerido y el número de interacciones (clics) para realizar las comparaciones son, en promedio, menores al utilizar la herramienta B (nueva propuesta).

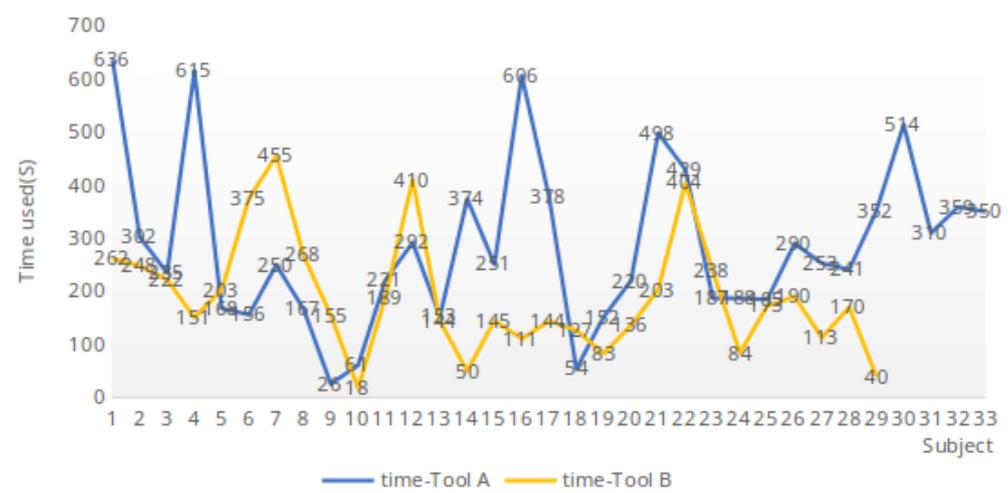


Figura 8.2: Gráfico de líneas representando el tiempo consumido por los sujetos al comparar con las diferentes herramientas.

En la figura [8.2](#) podemos observar un gráfico de líneas con el tiempo consumido por los sujetos al utilizar las diferentes herramientas. Desde un primer vistazo es evidente como en la mayoría de los casos los participantes invirtieron menos tiempo al realizar las comparaciones con la herramienta B; mientras que con el widget de comparación clásico (A) el proceso de comparación conllevó en promedio 287 segundos, con el nuevo widget de comparación (B) el tiempo promedio disminuye a 190 segundos.

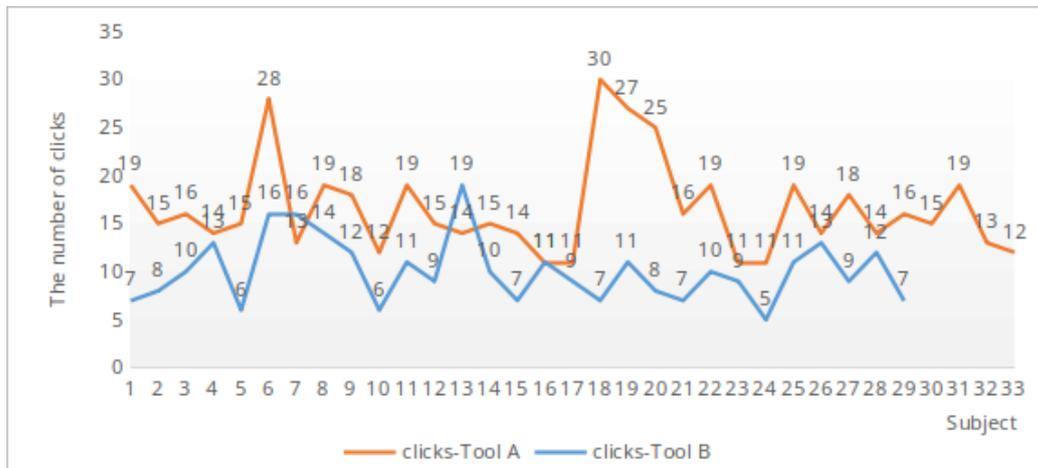


Figura 8.3: Gráfico de líneas representando el número de interacciones realizadas por los sujetos al comparar con las diferentes herramientas.

En la figura [8.3](#) es posible apreciar un gráfico de líneas que representa la cantidad de interacciones (clics) realizadas por los sujetos al hacer las comparaciones. De una forma similar a lo que sucedía con el tiempo invertido, el número de interacciones al utilizar la nueva herramienta de comparación (B) es menor que con la herramienta clásica (A). En promedio para realizar una comparación con el widget clásico fueron necesarios 16 clics mientras que con el nuevo widget 10. A partir de estos datos podemos concluir que la nueva propuesta para el widget de comparación es más conveniente en cuanto al tiempo requerido y la cantidad de interacciones comparado a la propuesta clásica.

8.3.2. Consistencia

El nivel de consistencia obtenido al realizar las comparaciones fue uno de los datos más importantes que se buscó recabar. De acuerdo al método AHP, el *Consistency Ratio (CR)* de una matriz de adyacencia debe ser menor a 0.1. Todas los participantes del experimento fueron estudiantes sin entrenamiento profesional en soporte de toma de decisiones, por lo que es relevante comparar con que herramienta se alcanza mayormente los niveles de aceptación de consistencia siendo los participantes personas sin experiencia en toma de decisiones. De acuerdo al diseño del experimento, cada escenario de comparación tiene dos criterios, uno con una tendencia a contener valores que su comparación es más objetiva (en los dos casos el precio) y el otro más sub-

jetiva (en este caso atracciones turísticas y características de departamentos en alquiler). Si bien los escenarios deben ser diferentes, se buscó que el nivel de dificultad en las comparaciones sean similares, por lo que es posible, en cierta medida, comparar los niveles de consistencia de cada herramienta para cada tipo de criterio de los dos escenarios esperando ver, en general, una diferencia marcada en los niveles de consistencia entre los criterios objetivos y subjetivos, sea cual sea la herramienta.

Tipo de Criterio	Widget	CR aceptable	CR no aceptable
Objetivo	A	39 %	61 %
	B	100 %	0 %
Subjetivo	A	15 %	85 %
	B	90 %	10 %

Cuadro 8.2: Porcentaje de comparaciones con niveles de consistencia aceptables y no aceptables para cada widget agrupado por tipo de criterio.

En el cuadro [8.2](#) se puede observar por cada widget que porcentaje de las comparaciones realizadas para criterios objetivos y subjetivos de los dos escenarios alcanzaron un nivel de consistencia aceptable y que porcentaje no cumplió con el nivel requerido. En primer lugar se puede observar un descenso en el porcentaje de comparaciones consistentes para los criterios subjetivos con respecto a los objetivos. En segundo lugar, se aprecia una amplia diferencia entre las dos herramientas. Con el método de comparación clásico (A) observamos que la mayoría de las veces no se alcanza un nivel aceptable de consistencia para los dos tipos de criterios; inclusive para los criterios subjetivos el 85 % de los casos el *CR* no se encuentra dentro del rango permitido. Con el nuevo método de comparación (B) podemos observar que se alcanza un nivel de consistencia aceptable en la mayoría de los casos para los dos tipos de criterios siendo inclusive del 100 % en uno de los casos. Es importante destacar que los valores del *CR* de las comparaciones con el widget de comparación nuevo alcanzaron niveles de consistencia casi perfectos (muy cercanos a cero), además para ambos escenarios se contaba con 4 alternativas, un número pequeño/mediano de elementos; los niveles de consistencia empeorarían significativamente al aumentar el número de alternativas. En conclusión, al utilizar el nuevo widget de comparación (B) los usuarios, que no tenían ningún tipo de experiencia en toma de decisión, pudieron alcanzar niveles aceptables de consistencia en la mayoría de las comparaciones realizadas sin tener conocimientos sobre comprobaciones de consistencia o realizar algún tipo de trabajo extra. Con el widget de comparación clásico (A) en la mayoría de los casos los usuarios no alcanzaron a un nivel de consistencia aceptable lo que hubiese implicado una revisión y corrección de las compara-

ciones realizadas hasta llegar a valores correctos, algo complejo de hacer sin tener experiencia previa en comparaciones *MCDM*.

8.3.3. Cuestionario

A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir de las respuestas dadas por los participantes en los cuestionarios.

1.- *¿Que herramienta le permitió modelar más precisamente la importancia relativa de cada alternativa?*

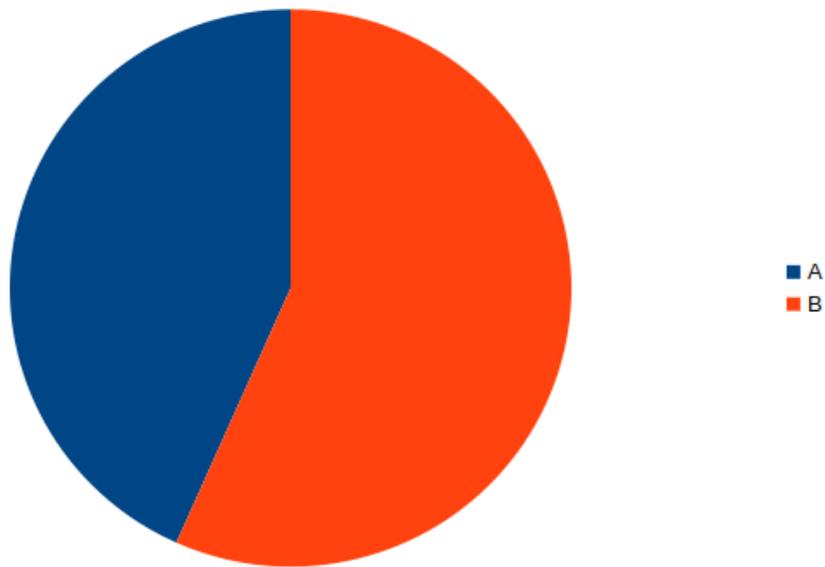


Figura 8.4: Gráfico de torta representando los resultados de la primera pregunta del cuestionario.

Sobre los 30 personas que participaron en el experimento, 17 expresaron que el nuevo widget de comparación (Herramienta B) les permitió modelar más precisamente la importancia relativa de cada alternativa, siendo así, la herramienta preferida.

2.- *¿Que herramienta es más fácil de utilizar?*

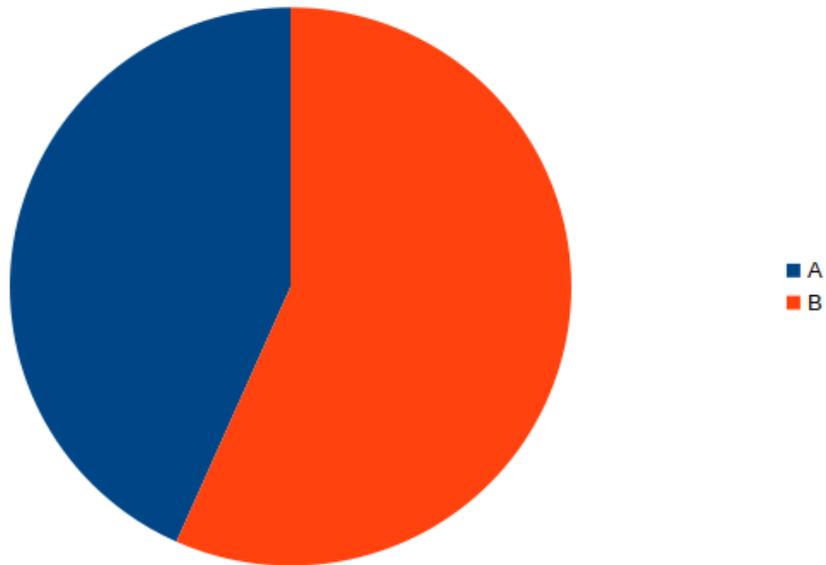


Figura 8.5: Gráfico de torta representando los resultados de la segunda pregunta del cuestionario.

De la misma forma que con la pregunta anterior, 17 personas sobre los 30 participantes en el experimento manifestaron que el nuevo widget de comparación (Herramienta B) les resultó la herramienta más fácil de utilizar.

Las siguientes preguntas se hicieron para cada herramienta con el fin de compararlas mejor:

3.- *Es difícil modelar el escenario con la herramienta dada (1 “muy fácil”, 5 “muy difícil”)*

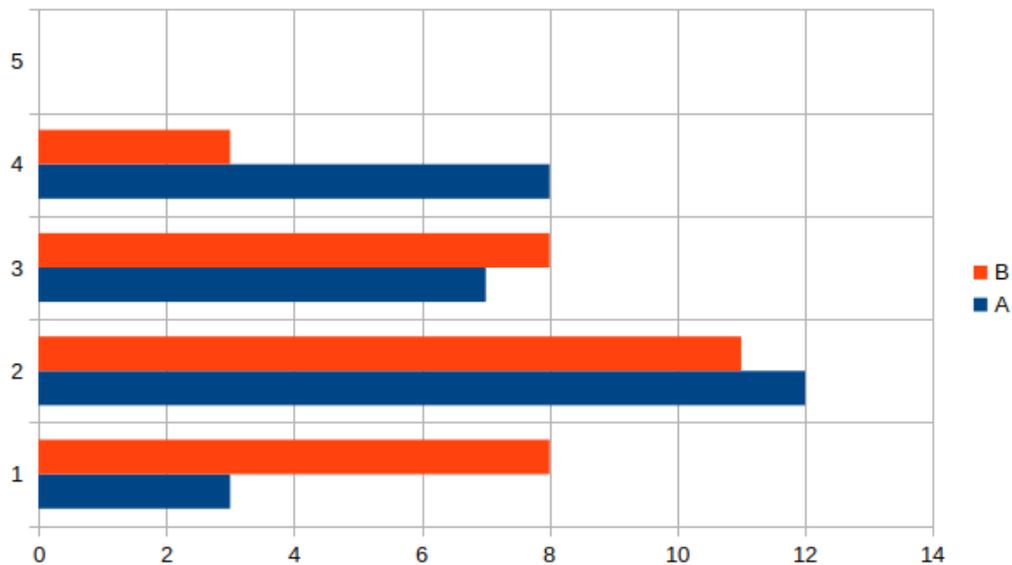


Figura 8.6: Gráfico de barras representando los resultados de la tercera pregunta del cuestionario.

Podemos observar que en promedio, los sujetos expresaron que la herramienta B (el nuevo widget de comparaciones) es más fácil de utilizar que la herramienta A (widget de comparación clásico).

4.- *Creo que voy a utilizar este widget de comparación frecuentemente (1 “no estoy de acuerdo”, 5 “estoy de acuerdo”)*

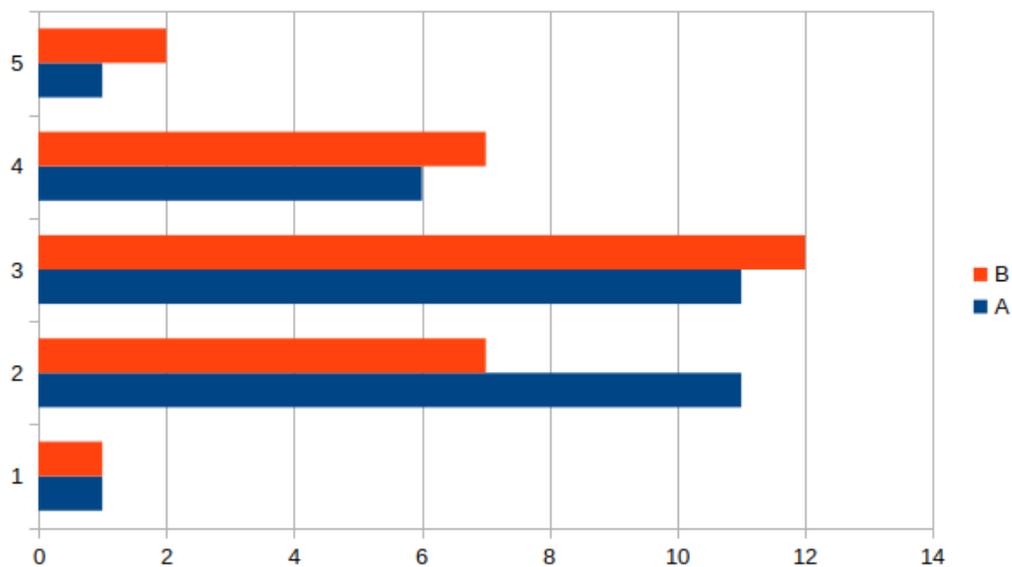


Figura 8.7: Gráfico de barras representando los resultados de la cuarta pregunta del cuestionario.

Los participantes expresaron estar mayormente de acuerdo a utilizar la nuevo widget de comparaciones(herramienta B) de forma frecuente que con el widget de comparación clásico(herramienta A).

5.- Encuentro este widget de comparación innecesariamente complejo (1 “no estoy de acuerdo”, 5 “estoy de acuerdo”)

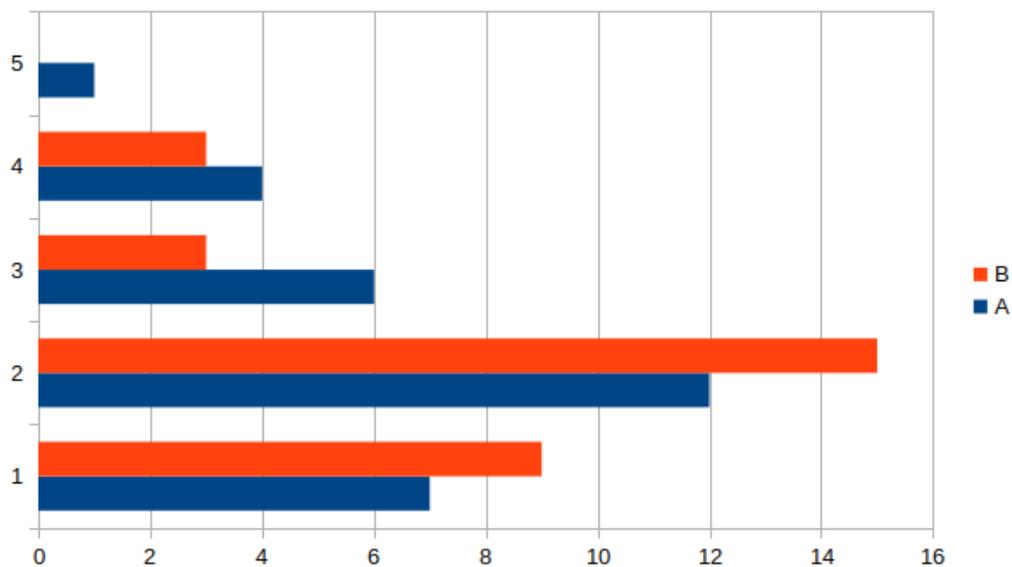


Figura 8.8: Gráfico de barras representando los resultados de la quinta pregunta del cuestionario.

En el gráfico anterior podemos observar que los sujetos no encontraron que el widget B (nueva propuesta) sea innecesariamente complejo y aunque que con el widget A (método clásico) sucede algo parecido no es al mismo nivel, inclusive podemos apreciar que algunas personas si expresaron que este método es innecesariamente complejo.

6.- Pienso que el widget de comparación es fácil de utilizar (1 “no estoy de acuerdo”, 5 “estoy de acuerdo”)

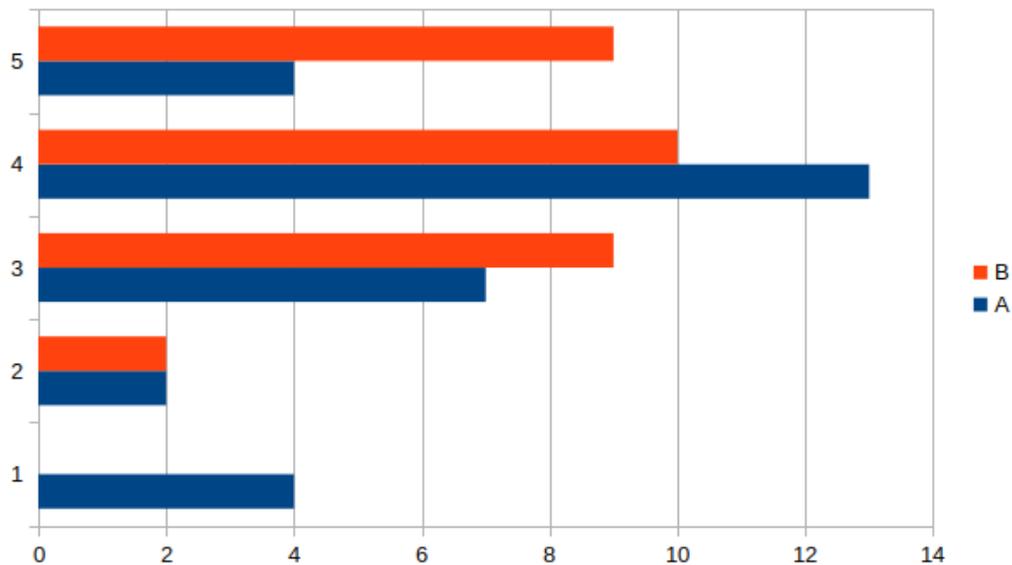


Figura 8.9: Gráfico de barras representando los resultados de la sexta pregunta del cuestionario.

Siendo una pregunta similar a la anterior podemos observar resultados parecidos. En mayor medida los sujetos expresaron que es fácil de utilizar la nueva propuesta (Herramienta B) mientras que lo hicieron en menor medida con el método clásico (Herramienta A) al punto que varios expresaron estar en desacuerdo con la afirmación.

7.- *Creo que voy a necesitar asistencia técnica para utilizar el widget de comparación (1 “no estoy de acuerdo”, 5 “estoy de acuerdo”)*

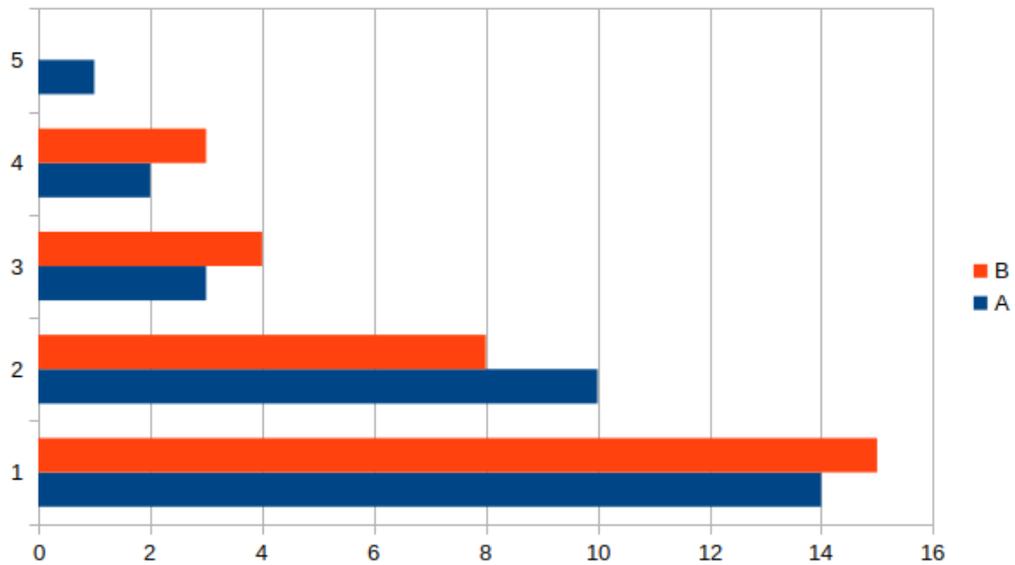


Figura 8.10: Gráfico de barras representando los resultados de la séptima pregunta del cuestionario.

Podemos observar que para la séptima pregunta las respuestas para las dos herramientas son similares. Los sujetos expresaron que no necesitarían asistencia técnica para el uso de ninguna de las dos herramientas.

8.- Las funciones del widget de comparación se encontraban bien integradas (1 “no estoy de acuerdo”, 5 “estoy de acuerdo”)

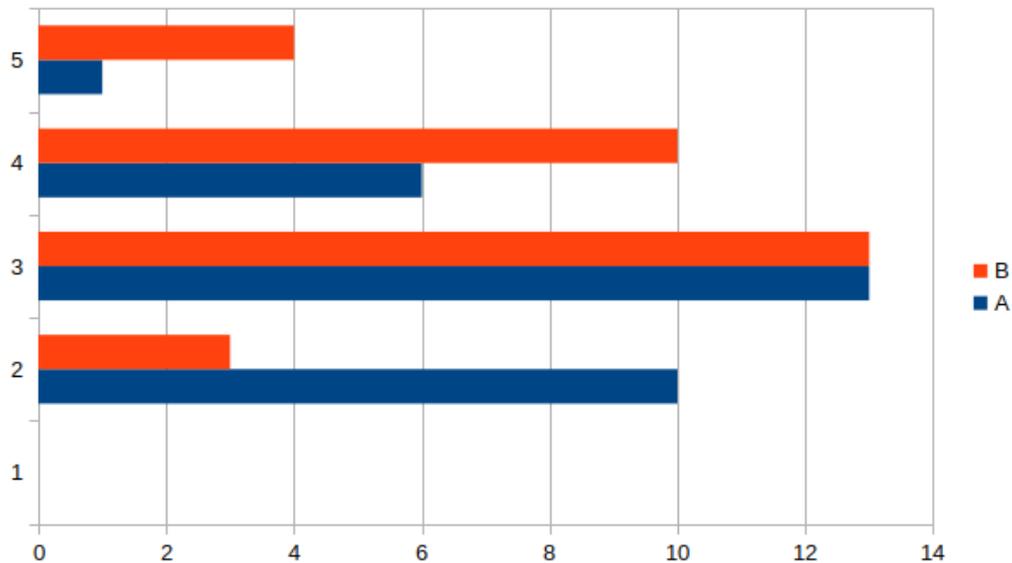


Figura 8.11: Gráfico de barras representando los resultados de la octava pregunta del cuestionario.

En los resultados de la octava pregunta podemos observar un claro favoritismo por el nuevo widget de comparación (Herramienta B), esto es esperable ya que el método es más interactivo y más expresivo visualmente que la metodología clásica.

9.- Pienso que hay mucha inconsistencia en el widget de comparación. (1 “no estoy de acuerdo”, 5 “estoy de acuerdo”)

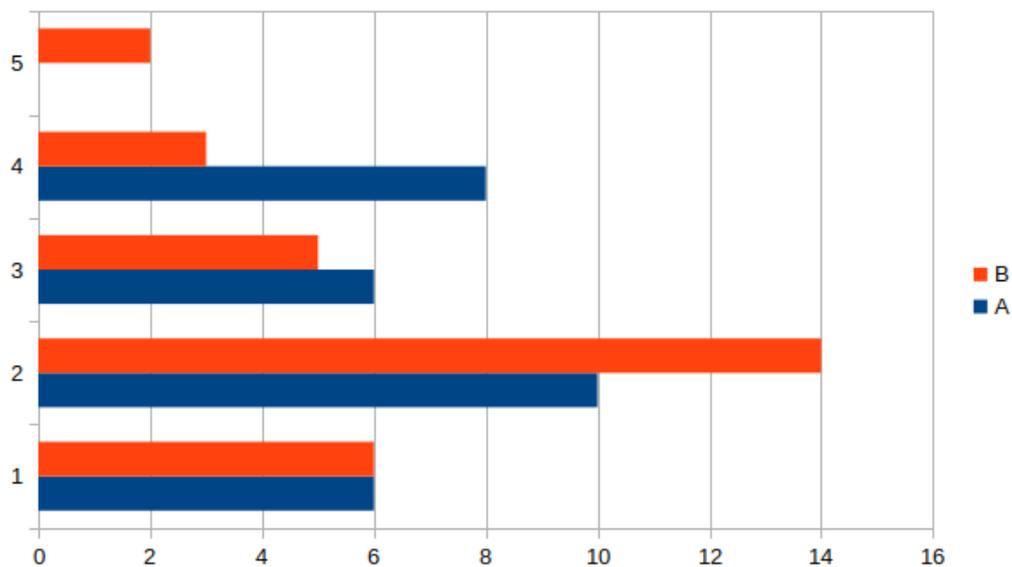


Figura 8.12: Gráfico de barras representando los resultados de la novena pregunta del cuestionario.

Generalmente los participantes expresaron que mayormente piensan que el widget de comparación B (nuevo) no genera resultados inconsistentes, lo mismo sucede con el widget de comparación A (clásico) pero en mucho menor medida. Curiosamente un sujeto expresó que existe mucha inconsistencia en la opción B.

10.- Pienso que la mayoría de las personas serían capaces de aprender a usar el widget de comparación. (1 “no estoy de acuerdo”, 5 “estoy de acuerdo”)

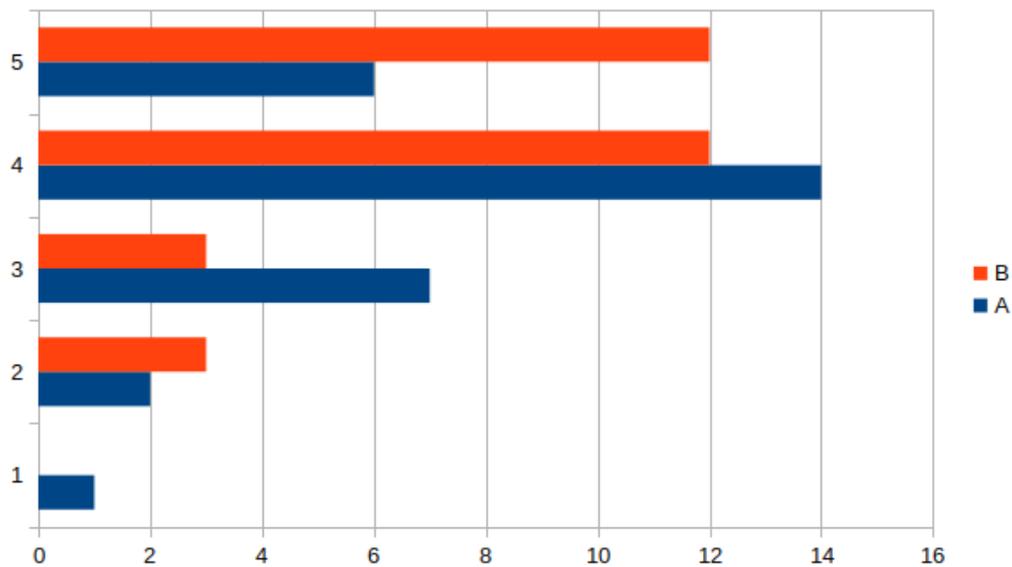


Figura 8.13: Gráfico de barras representando los resultados de la décima pregunta del cuestionario.

La mayoría de los sujetos expresaron que la mayoría de las personas serían capaces de aprender a utilizar el nuevo widget de comparación (B), lo mismo sucede con el widget clásico (A) pero en menor medida.

11.- Encuentro que el widget de comparación es muy engorroso de usar. (1 “no estoy de acuerdo”, 5 “estoy de acuerdo”)

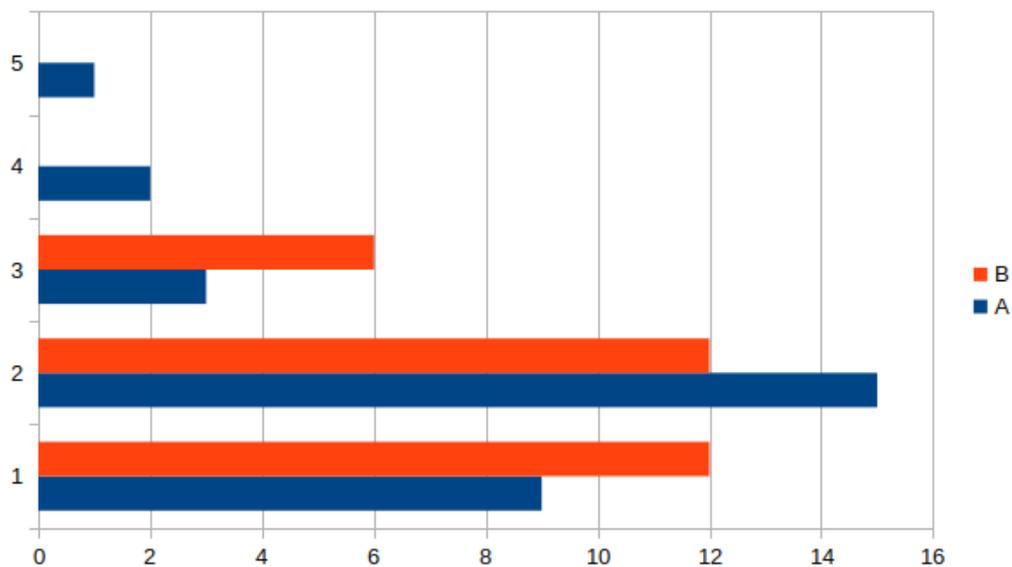


Figura 8.14: Gráfico de barras representando los resultados de la onceava pregunta del cuestionario.

Mientras que algunos sujetos del experimento encontraron que el widget de comparación clásico (A) engorroso de utilizar, la mayoría de los encuestados no estuvieron de acuerdo con esta afirmación para el nuevo widget de comparación (B).

12.- *Me sentí muy confiado utilizando el widget de comparación. (1 “no estoy de acuerdo”, 5 “estoy de acuerdo”)*

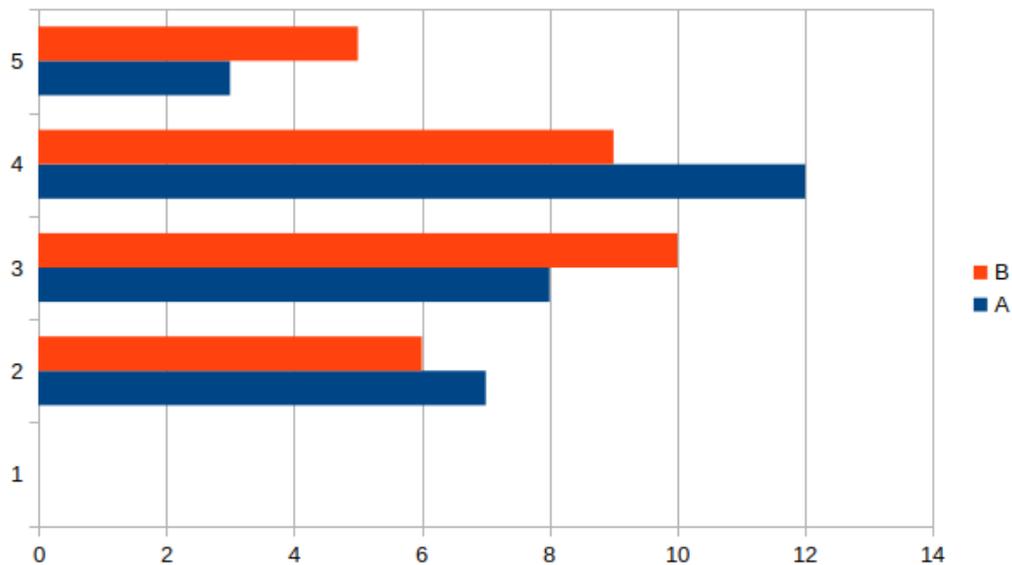


Figura 8.15: Gráfico de barras representando los resultados de la doceava pregunta del cuestionario.

Los usuarios expresaron un nivel de confianza similar al utilizar las dos herramientas. Tanto para la herramienta A como la herramienta B las respuestas fueron mayormente positivas.

13.- Tengo que aprender muchas cosas antes de poder utilizar el widget de comparación. (1 “no estoy de acuerdo”, 5 “estoy de acuerdo”)

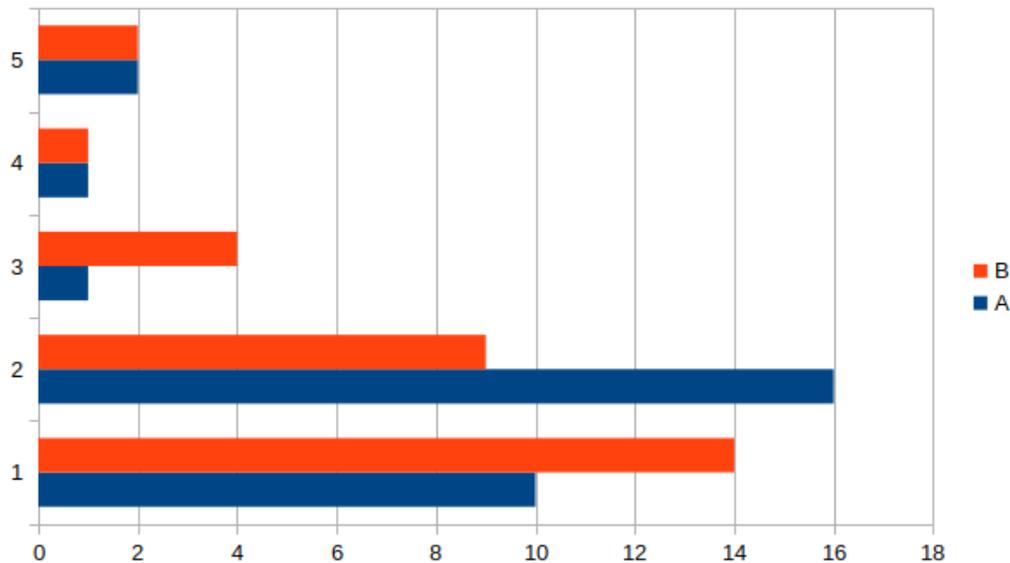


Figura 8.16: Gráfico de barras representando los resultados de la treceava pregunta del cuestionario.

Por último los usuarios expresaron que ambas herramientas son simples de aprender a utilizar sin una preferencia marcada de una sobre la otra.

Podemos concluir que tanto en los datos obtenidos sobre el tiempo invertido para realizar las comparaciones, el número de interacciones necesaria y los niveles de consistencia como en las preguntas realizadas a los participantes del experimento, el nuevo widget de comparación es una propuesta superadora a la herramienta típicamente utilizada para realizar comparaciones en pares. Si bien en mayor o menos medida, en todas las preguntas del cuestionario los sujetos siempre prefirieron la nueva herramienta a la clásica. El número de interacciones (clics) y el tiempo invertido en las comparaciones se ve, en general, reducido. Sin embargo, en donde el nuevo widget de comparación realmente se destaca es en los niveles de consistencia obtenidos; mientras que con el widget clásico en muy pocas ocasiones se alcanza un nivel de consistencia satisfactorio, con el nuevo widget en casi la totalidad de las pruebas se alcanzan niveles más que aceptables.

Capítulo 9

Conclusiones y trabajos futuros

A continuación se exponen las principales conclusiones obtenidas durante el desarrollo de este informe. Luego se presentan los posibles trabajos futuros en pos de continuar los temas estudiados.

9.1. Conclusiones Generales

La toma de decisiones es una tarea que debemos afrontar constantemente las personas a lo largo de nuestra vida, tanto en el ámbito personal como profesional. La subjetividad, los riesgos que deben asumirse y la incertidumbre son algunos aspectos que pueden tornar abrumadora la tarea de tener que llegar a una decisión. A lo largo de este trabajo se estudiaron las disciplinas que buscaron desarrollar metodologías para tratar a la toma de decisiones como un proceso analítico y estructurado y a su vez permitiendo a los sujetos expresar sus puntos de vista. Se hizo especial incapie en analizar AHP, el método de toma de decisión multicriterio más extendido.

Logikós es una herramienta que plantea un enfoque para afrontar las dificultades que comúnmente tiene el usuario promedio al tener que decidir que producto adquirir en la infinidad de posibilidades que nos ofrece internet. La aplicación no se limita a aplicar un método de toma de decisiones como otros *Decision Support System (DSS)*, diversas características fueron provistas para simplificar el proceso como los extractores de información, los perfiles y las estrategias de comparación. En la etapa de experimentación se buscó

comprobar si al utilizar *Logikós* la confianza en los resultados obtenidos era mayor que a través de métodos tradicionales. Si bien la aplicación fue bien recibida y los resultados fueron mayormente positivos, muchos encuestados expresaron como una desventaja la cantidad de comparaciones en pares que es necesario realizar, un inconveniente que se observa generalmente al utilizar el método AHP.

En este trabajo se buscaron alternativas para reducir la cantidad de comparaciones en pares requeridas al utilizar el método AHP ya que se considera que este es el mayor inconveniente que dificulta la utilización de esta clase de métodos en procesos de toma de decisión donde se busca agilidad y facilidad de uso por parte de los usuarios. La primera tentativa fue continuar con el enfoque propuesto por las *Smart Ranking Strategies (SRS)* planteadas por *Logikós*, mecanismos que permiten la comparación automática de alternativas de acuerdo a diferentes características. Esta opción quedó descartada debido a las dificultades para desarrollar estrategias que se adapten a todo tipo de escenarios, siendo capaces de expresar las comparaciones como lo haría un usuario y que además sean fáciles de utilizar y configurar.

El enfoque desarrollado se basa en las propiedades de consistencia para implementar un algoritmo capaz de inferir las decisiones de los usuarios a partir de las ya hechas. De esta manera, no solo se reducen la cantidad de comparaciones a realizar, sino que además el resultado obtenido es consistente, un requerimiento clave para que el proceso de comparación sea válido. Si bien es necesario que los usuarios realicen comparaciones, la cantidad necesaria es drásticamente menor a las requeridas típicamente por AHP y los beneficios obtenidos son muy convenientes. En primer lugar es posible representar exactamente lo que el usuario quiere expresar, aunque con la metodología clásica esto también era posible era necesario más trabajo por parte del usuario, las estrategias de comparación, por otro lado automatizaban completamente el proceso pero los resultados obtenidos eran muy estáticos y era difícil reflejar el punto de vista del usuario sin complejizar en gran medida la estrategia. En segundo lugar pueden compararse cualquier tipo de alternativas. Las estrategias de comparación se limitaban a elementos que podían de alguna forma representarse con valores que una computadora es capaz de comparar, esto en muchas ocasiones es difícil de lograr, especialmente en criterios difíciles de cuantificar como el color, la marca o el diseño. En este caso, al ser el usuario el que realiza las comparaciones este es capaz de comparar cualquier tipo de criterio sin inconvenientes. En tercer lugar los resultados son altamente consistentes y, principalmente, el usuario no debe preocuparse al respecto. Con la forma de comparación clásica, si el resultado era inconsistente el usuario

debía revisar sus respuestas y corregirlas hasta llegar a un nivel aceptable de consistencia. Este proceso de revisión es difícil de realizar para un usuario interiorizado en el método AHP y prácticamente imposible para un usuario sin conocimientos sin recibir ningún tipo de asistencia.

La metodología propuesta se complementa con el nuevo widget para realizar comparaciones, una propuesta que busca que el uso de métodos de toma de decisión sea más amigable para el usuario promedio. Al reducir la cantidad de comparaciones necesarias, fue posible repensar la forma en que el usuario debe interactuar con la herramienta para expresar el valor de las comparaciones. El nuevo widget permite al usuario expresar la importancia de un elemento rápidamente de una forma interactiva y visualmente expresiva.

Los resultados obtenidos en la etapa de experimentación fueron mayormente positivos. Los sujetos expresaron que el nuevo widget de comparación es más fácil de utilizar y lo prefieren al método clásico. La cantidad de tiempo que es necesario invertir en el proceso de comparación y la cantidad de interacciones es menor. Principalmente, hay una amplia diferencia en los niveles de consistencia; la nueva propuesta arroja valores de consistencia sumamente satisfactorios en la mayoría de los ensayos realizados, mientras que con el método clásico sucede todo lo contrario.

9.2. Trabajos Futuros

Se identifican las posibles líneas de trabajo futuro para la continuación del desarrollo presentado en esta tesina:

- Entender el impacto de sacrificar expresividad a favor de mayor consistencia y usabilidad. Como se ha mencionado anteriormente, el método propuesto infiere el valor de decisiones que el usuario debería realizar manualmente a partir del conjunto de decisiones ya hechas. Si bien los valores inferidos se ven fuertemente acotados por los ya existentes y por la necesidad de mantener la consistencia, esto implica que el usuario pierda expresividad en el proceso de toma de decisión. En este desarrollo se intentó encontrar un balance, donde se pueda tener un alto nivel de expresividad y a la vez contar con una herramienta usable y una garantía de resultados óptimos. Podría ser de utilidad analizar el impacto de diferentes cantidades de decisiones requeridas.

- Variabilidad en las decisiones inferidas: los niveles de consistencia alcanzados con la nueva propuesta son cercanos al valor de la consistencia perfecta(0). Si bien estos valores son deseables, en un escenario de toma de decisión típico, los usuarios difícilmente alcanzan estos valores. Al utilizar la *Formula de Transitividad* es posible encontrar un rango de posibles valores para una decisión manteniendo un nivel aceptable de consistencia. De esta manera sería posible reflejar un nivel más alto de expresividad en las decisiones manteniendo un menor nivel de consistencia pero aún dentro de los límites requeridos.
- Observar como el método propuesto se comporta con un número alto de alternativas y escenarios de decisión jerárquicamente complejos.

Apéndice A

Escenarios de prueba

A.1. Escenario A: Elegir un destino de viaje

Marcos quiere regalarle unas vacaciones de una semana a su madre para su cumpleaños. Estuvo buscando en internet y tiene un amplio catálogo de destinos para elegir. Sabe que al estar todo el año viviendo en París, lo que más quiere su madre es escapar de las ciudades grandes. Aunque le gustan los destinos con atractivos culturales e históricos, prefiere la naturaleza y las actividades al aire libre. A ella le gusta más la montaña que la playa. Por cada destino turístico Marcos tiene en cuenta el precio total de la estadía y las actividades/atracciones turísticas disponibles que mejor se adapten a los gustos de su madre.

A) Parc du Luberon - Precio aproximado para un fin de semana 500€
El Parque Natural Regional de Luberon es un parque natural en el Luberon, una cadena montañosa francesa de poca altura que se extiende de este a oeste entre los Alpes de Haute-Provence y el Vaucluse y que incluye tres “montañas”: el Luberon oriental, el Grand Luberon y el Petit Luberon. Es el hogar de una flora y fauna excepcionalmente diversa, así como un patrimonio arquitectónico y paisajístico de gran valor. Podemos considerar tres tipos principales de turismo en el Luberon. En primer lugar, el turismo histórico y cultural, que se basa en un rico patrimonio de pueblos o festivales en la cima de las colinas. Luego, el turismo de relajación que se refleja en un importante desarrollo de habitaciones, hoteles y alquileres de temporada, una importante concentración de piscinas y actividades como los mercados provenzales. Por

último, el turismo verde que aprovecha las numerosas rutas de senderismo y el entorno protegido que ofrece el Luberon y sus alrededores.

B) Nice - Precio aproximado para un fin de semana 900€

Niza es una gran ciudad ubicada en el extremo sureste de Francia continental, no lejos de la frontera italiana (treinta kilómetros). Forma parte de la Riviera mediterránea de la que es el extremo occidental. Limita con la Bahía de los Ángeles y está rodeado por varias colinas. La presencia de familias nobles a través de la historia, ha dotado a la ciudad de un rico patrimonio de residencias privadas: castillos, palacios y villas. Algunas de estas residencias se encuentran en las colinas que rodean Niza. El patrimonio hotelero, debido al auge de la actividad turística en la segunda mitad del siglo XIX, es considerable, habiéndose construido muchos establecimientos durante la Belle Époque. Los palacios han desaparecido (generalmente convertidos en condominios residenciales), pero varios grandes hoteles fueron restaurados y modernizados en la segunda mitad del siglo XX. Hay dos casinos en la ciudad, ubicados a cien metros uno del otro en el Promenade des Anglais.

C) Île de Porquerolles - Precio aproximado para un fin de semana 700€

La isla de Porquerolles es la más grande y occidental de las tres islas Hyères. Su estado de conservación se debe a que es propiedad del Estado francés desde 1971 y goza de la condición de "parque nacional" desde 2012. La isla es apta para la práctica de numerosas actividades de ocio: natación, playas, senderismo. (senderismo y ciclismo), navegación y buceo. Porquerolles disfruta de un clima mediterráneo subtropical con veranos calurosos (promedio de 26 ° C) e inviernos suaves (promedio de 11 ° C) lo que lo convierte en uno de los lugares más calurosos de la Francia continental con un promedio anual de 18,3 ° C.

D) Paris - Precio aproximado para un fin de semana 900€

París es la capital de Francia, ubicada en el centro norte. La región de París tiene alrededor de 10 millones de habitantes. París desempeña un papel cultural, diplomático, político, militar y económico de primer orden en la historia de Europa y del mundo. París es una de las ciudades más caras del mundo: en 2018 fue clasificada como la más cara para vivir a la par o por delante de Singapur y Hong Kong. Varios monumentos de París están catalogados como Patrimonio de la Humanidad, como la catedral de Notre-Dame de Paris, el monumento más visitado de Europa. En 2019 cerca de 34 millones de visitantes y 17,5 millones de visitantes extranjeros en 2018, lo que la convierte en la sexta ciudad más visitada del mundo y la cuarta capital ese año.

A.2. Escenario B: Elegir un departamento

Julian y Maria quieren mudarse del departamento que alquilan actualmente. Los dos son jóvenes, trabajan y tienen actividades semanales como ir al gimnasio, ir al teatro, visitar a amigos, hacer cursos, etc. Propusieron que cada uno vaya a diferentes inmobiliarias y que luego junten las opciones que más les interesaron. Son muchos lugares diferentes y a la pareja les cuesta decidir cuál es el mejor. Lo que están teniendo en cuenta a la hora de decidir es el costo del alquiler y las características del departamento.

A) Departamento en el centro de la ciudad - Costo del alquiler 900€
Edificio nuevo, piso de dos ambientes en pleno centro de la ciudad, a tan solo dos calles de sus lugares de trabajo, comercios, bares, cines, etc. Es bastante ruidoso de lunes a viernes, pero también los viernes y sábados por la noche. Pequeña cocina y sala de estar, baño con inodoro separado, dormitorio con armario empotrado

B) Departamento antiguo - Costo del alquiler 1100€
Antiguo departamento en una zona tranquila, a solo 20 minutos caminando del centro de la ciudad. Amplia habitación y living con balcón. Una habitación(sin armario) y un baño.

C) Duplex en las afueras - 1200€
Pequeño Duplex en un edificio en las afueras, a 15 minutos en colectivo del centro de la ciudad para ir a trabajar o hacer tramites, pero hay negocios para todo tipo de necesidades en el barrio. Living cocina de tamaño mediano(cocina pequeña). Amplia habitación. Dos baños: uno pequeño en la planta baja y uno privado en el piso de arriba.

D) Casa en los suburbios - 900€
Casa en los suburbios. Barrio tranquilo, a 50 minutos en colectivo del centro y a 10 minutos caminando de comercios. Cocina totalmente equipada con comedor. Amplio living room con vista a un jardín con pileta. Dos habitaciones y dos baños, uno privado en la habitación principal.

Apéndice B

Cuestionario

Este experimento se divide en dos partes: primero, debe confirmar si está utilizando la herramienta A o la herramienta B, y qué escenario eligió. Después de completar el primer experimento, complete la primera página del cuestionario (preguntas 1 a 13). Luego comience el segundo experimento con la herramienta y escenario restantes complete la segunda pagina del cuestionario (preguntas 1 a 13).

Nombre y apellido:

1) ¿Cual es el primer escenario que eligió?

- Escenario A: Elegir un destino de viaje
- Escenario B: Elegir un departamento

2) ¿Que herramienta eligió para el primer escenario de decisión?

- Herramienta A
- Herramienta B

3) ¿Es difícil modelar la escena con la herramienta dada? (1 “muy fácil”, 5 “muy difícil”)

4) Creo que voy a utilizar este widget de comparación frecuentemente(1 “no estoy de acuerdo”, 5 “estoy de acuerdo”)

- 5) Encuentro este widget de comparación innecesariamente complejo (1 “no estoy de acuerdo”, 5 “estoy de acuerdo”)
- 6) Pienso que el widget de comparación es fácil de utilizar (1 “no estoy de acuerdo”, 5 “estoy de acuerdo”)
- 7) Creo que voy a necesitar asistencia técnica para utilizar el widget de comparación (1 “no estoy de acuerdo”, 5 “estoy de acuerdo”)
- 8) Las funciones del widget de comparación se encontraban bien integradas (1 “no estoy de acuerdo”, 5 “estoy de acuerdo”)
- 9) Pienso que hay mucha inconsistencia en el widget de comparación (1 “no estoy de acuerdo”, 5 “estoy de acuerdo”)
- 10) Pienso que la mayoría de las personas serían capaces de aprender a usar el widget de comparación (1 “no estoy de acuerdo”, 5 “estoy de acuerdo”)
- 11) Encuentro que el widget de comparación es muy engorroso de usar (1 “no estoy de acuerdo”, 5 “estoy de acuerdo”)
- 12) Me sentí muy confiado utilizando el widget de comparación (1 “no estoy de acuerdo”, 5 “estoy de acuerdo”)
- 13) Tengo que aprender muchas cosas antes de poder utilizar el widget de comparación (1 “no estoy de acuerdo”, 5 “estoy de acuerdo”)

Después de completar los dos escenarios utilizando las herramientas provistas. Complete:

¿Qué herramienta le permitió modelar con mayor precisión la importancia relativa de cada alternativa?

- Herramienta A
- Herramienta B

¿Qué herramienta le resultó más fácil de utilizar?

- Herramienta A
- Herramienta B

¿Porque esta herramienta es mejor?

¿Alguna vez ha utilizado software para tomar decisiones?

- Sí
- No

Si respondió “Si” ¿Cual el nombre del software?

Bibliografía

- [1] James R. Bettman, Mary Frances Luce, and John W. Payne. Consumer decision making. *Handbook of consumer behaviour*, pages 50–84, 1991.
- [2] Gabriela Bosetti, Sergio Firmenich, Gustavo Rossi, Marco Winckler, and Tomas Barbieri. Web Objects Ambient: An Integrated Platform Supporting New Kinds of Personal Web Experiences. In *Web Engineering*, Lecture Notes in Computer Science, Cham, 2016. Springer International Publishing.
- [3] Matteo Brunelli. *Introduction to the Analytic Hierarchy Process*. SpringerBriefs in Operations Research. Springer International Publishing, Cham, 2015.
- [4] Gülçin Büyüközkan and Sezin Güleriyüz. Multi Criteria Group Decision Making Approach for Smart Phone Selection Using Intuitionistic Fuzzy TOPSIS. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 9(4):709–725, July 2016.
- [5] Ziv Carmon, Klaus Wertenbroch, and Marcel Zeelenberg. Option Attachment: When Deliberating Makes Choosing Feel like Losing. *Journal of Consumer Research*, 30(1):15–29, June 2003.
- [6] Shu-Jen Chen and Ching-Lai Hwang. *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. Springer, Berlin Heidelberg, 1992.
- [7] Alexander Chernev. When More Is Less and Less Is More: The Role of Ideal Point Availability and Assortment in Consumer Choice. *Journal of Consumer Research*, 30(2):170–183, September 2003.
- [8] Alejandro Fernandez, Pascale Zaraté, Juan Cruz Gardey, and Gabriela Bosetti. Supporting multi-criteria decision-making across websites: the

- Logikós approach. *Central European Journal of Operations Research*, 29(1):201–225, March 2021.
- [9] Alejandro Fernández, Gabriela Bosetti, Sergio Firmenich, and Pascale Zaraté. Logikós: Augmenting the Web with Multi-criteria Decision Support. In Paulo Sérgio Abreu Freitas, Fatima Dargam, and José Maria Moreno, editors, *Decision Support Systems IX: Main Developments and Future Trends*, Lecture Notes in Business Information Processing, pages 123–135, Cham, 2019. Springer International Publishing.
- [10] Sarah Fores and Jakob Krarup. On the origins of OR and its institutions. *Central European Journal of Operations Research*, 21, 2013.
- [11] Salvatore Greco, Matthias Ehrgott, and José Rui Figueira, editors. *Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys*. Number 233 in International series in operations research & management science. Springer, New York Heidelberg Dordrecht : London, second edition edition, 2016.
- [12] Cynthia Huffman and Barbara E. Kahn. Variety for sale: Mass customization or mass confusion? *Journal of Retailing*, 74(4):491–513, September 1998.
- [13] Alessio Ishizaka and Philippe Nemery. *Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK, July 2013.
- [14] Sheena S. Iyengar and Mark R. Lepper. When choice is demotivating: Can one desire too much of a good thing? *Journal of Personality and Social Psychology*, 79(6):995–1006, December 2000.
- [15] Jacob Jacoby, Donald E. Speller, and Carol A. Kohn. Brand Choice Behavior as a Function of Information Load. *Journal of Marketing Research*, 11(1):63–69, February 1974.
- [16] Kevin Lane Keller and Richard Staelin. Effects of Quality and Quantity of Information on Decision Effectiveness. *Journal of Consumer Research*, 14(2):200, September 1987.
- [17] George F. Loewenstein, Elke U. Weber, Christopher K. Hsee, and Ned Welch. Risk as feelings. *Psychological Bulletin*, 127(2):267–286, 2001.
- [18] F. A. Lootsma. The french and the american school in multi-criteria decision analysis. *RAIRO - Operations Research*, 24(3):263–285, 1990.

- [19] Mary Frances Luce. Choosing to Avoid: Coping with Negatively Emotion-Laden Consumer Decisions. *Journal of Consumer Research*, 24(4):409–433, March 1998.
- [20] Michael G. Luchs, Rebecca Walker Naylor, Julie R. Irwin, and Rajagopal Raghunathan. The Sustainability Liability: Potential Negative Effects of Ethicality on Product Preference. *Journal of Marketing*, 74(5):18–31, September 2010.
- [21] Nicholas H. Lurie. Decision Making in Information-Rich Environments: The Role of Information Structure. *Journal of Consumer Research*, 30(4):473–486, March 2004.
- [22] Enrique Mu and Milagros Pereyra-Rojas. Understanding the Analytic Hierarchy Process. In *Practical Decision Making*, pages 7–22. Springer International Publishing, Cham, 2017.
- [23] Richard E. Nisbett and Timothy D. Wilson. Telling more than we can know: Verbal reports on mental processes. *Psychological Review*, 84(3):231–259, May 1977.
- [24] Rajagopal Raghunathan, Rebecca Walker Naylor, and Wayne D. Hoyer. The Unhealthy = Tasty Intuition and Its Effects on Taste Inferences, Enjoyment, and Choice of Food Products. *Journal of Marketing*, 70(4):170–184, October 2006.
- [25] Bernard Roy and Daniel Vanderpooten. The European school of MCDA: Emergence, basic features and current works. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 5(1):22–38, 1996.
- [26] Thomas L. Saaty. *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill International Book Co, New York ; London, 1980.
- [27] Thomas L. Saaty. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1):83, 2008.
- [28] Thomas L. Saaty and Luis G. Vargas. *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*, volume 175 of *International Series in Operations Research & Management Science*. Springer US, Boston, MA, 2012.
- [29] Evangelos Triantaphyllou. Multi-criteria Decision Making Methods: A Comparative Study, 0000. OCLC: 1159113874.

- [30] Deng-Neng v, Paul Jen-Hwa Hu, Ya-Ru Kuo, and Ting-Peng Liang. A Web-based personalized recommendation system for mobile phone selection: Design, implementation, and evaluation. *Expert Systems with Applications*, 37(12):8201–8210, December 2010.
- [31] Patricia M. West and Susan M. Broniarczyk. Integrating Multiple Opinions: the Role of Aspiration Level on Consumer Response to Critic Consensus. *Journal of Consumer Research*, 25(1):38–51, June 1998.

Glosario

AHP

Analytic Hierarchy Process. 7–10, 17, 18, 20, 23, 41, 43–45, 55–58, 62, 66, 71, 74, 76, 83, 98–100

análisis FODA

Estudio orientado a proyectos, personas u organización para identificar características internas (**F**ortalezas y **D**ebilidades) y externas (**O**portunidades y **A**menazas). 40, 41, 43, 45

Angular

Librería de javascript para la construcción de interfaces de usuario. 74

API

Application Programming Interface. 73, 77, 116

Aumentación Web

Conjunto de técnicas y metodologías para alterar páginas web desde el lado del cliente para mejorar la forma en que los usuarios interactúan con estas. 8, 37, 72

BSON

Binary JSON. 77

CACE

Cámara Argentina de Comercio Electrónico. 35

CI

Consistency Index. 23

comparación en pares

Proceso por el cual un conjunto de entidades son comparadas en pares para determinar la preferencia de una sobre la otra. 20–22

CR

Consistency Ratio. 23, 26, 65, 81, 83, 84

CSS

Cascading Style Sheets. 73

Docker

Plataforma que permite la ejecución de aplicaciones en contenedores de software, permitiendo su empaquetado y ejecución en un entorno de virtualización a nivel del sistema operativo.. 78

DSS

Decision Support System. 15, 37, 40, 43, 45, 46, 66, 98

Express.js

Framework de Node.js para el desarrollo de aplicaciones en el backend. 77

git

herramienta de control de versiones *open source* con esquema distribuido, ágil y simple de utilizar. 78

HTML

HyperText Markup Language. 73

HTTP

HyperText Transfer Protocol. 73, 74

IDE

Integrated Development Environment. 73

Javascript

Lenguaje de programación interpretado y multiparadigma; dialecto del standard ECMAScript. Principalmente utilizado en paginas web del lado del cliente. Se encuentra implementado en la mayoría de los navegadores. sort. 73, 76, 77, 114

JSON

JavaScript Object Notation. 77

matriz de decisión

matriz donde se disponen en cada celda los valores de la comparación entre dos pares de elementos. 21, 76

MCDM

multiple-criteria decision-making. 15, 16, 37, 42, 46, 85

MEAN

MongoDB, Express.js, Angular & Node.js. 78

MongoDB

Sistema de base de datos NoSQL orientado a documentos de código abierto. 77

Node.js

Entorno para la ejecución Javascript fuera del navegador, permitiendo, entre otras cosas, el uso de Javascript del lado del servidor. 77, 113

Nuxt.js

Framework Javascript basado en Vue.js utilizado para el desarrollo de aplicaciones web del lado del cliente. 76

Operation Research

Disciplina que se encarga del desarrollo de métodos para asistir en la toma de decisiones. 7

OR

Operation Research. 15, 36

React

Librería de javascript para la construcción de interfaces de usuario. 74

REST

REpresentational State Transfer. 73, 77

RI

Random Consistency Index. 23

Seaside

Framework para desarrollo de aplicaciones web en el lenguaje de programación Smalltalk. 73, 74

sistema de soporte de decisiones

Sistema informático para el soporte de toma de decisiones típicamente utilizado por empresas y organizaciones en sus actividades. 15

Smalltalk

Lenguaje de programación orientado a objetos. 74, 115

SPA

Single Page Application. 76

SRS

Smart Ranking Strategies. 39, 41, 49, 50, 56, 69, 70, 80, 99

UI

User Interface. 74

UML

Unified Modeling Language. 74

URL

Uniform Resource Locator. 73, 78

user flow

Diagrama de flujo que representa los pasos que debe seguir un usuario en una web o app para completar una tarea. Típicamente utilizando en análisis de usabilidad. 46

Vue.js

Librería de javascript para la construcción de interfaces de usuario. 74, 76, 114

WebExtensions API

API provista por diferentes navegadores web para el desarrollar extensiones. 73

WOA

Web Objects Ambient. 37, 38

WPM

Weighted Product Model. 17

WSM

Weight Sum Model. 17

XPath

Lenguaje de consulta que permite recorrer documentos XML, obteniendo nodos o computando valores. 37

Índice de figuras

2.1. Diagrama de una jerarquía en AHP	19
2.2. Ejemplo de matriz de decisión de tamaño 4x4	21
2.3. Ejemplo de compra de auto familiar - Diagrama de jerarquía	25
2.4. Ejemplo de compra de auto familiar - Diagrama de jerarquía ponderada	28
3.1. Flujo del experimento realizado en la primera implementación de <i>Logikós</i>	41
5.1. Userflow de creación de un perfil en Logikos. Observese que el proceso de creación de criterios puede repetirse una cantidad indefinida de veces.	47
5.2. Vista de creación y edición de un perfil de comparación compatible.	49
5.3. Vista de creación y edición de un criterio.	50
5.4. Vista de configuración de Smart Ranking Strategy para un criterio.	50
5.5. Vista de creación y edición de un perfil en la nueva implementación	51
5.6. Creación de criterios en la vista de creación de perfiles.	52
5.7. Comparaciones de criterios en la vista de creación de perfiles.	53

6.1. Representación gráfica de la formula de propiedad de la consistencia de una matriz de decisión en AHP aplicada a la celda A_{13}	63
6.2. Ejemplo de la formula de transitividad. Paso 1: Una fila completa.	64
6.3. Ejemplo de la formula de transitividad. Paso 2: Autocompletado de la fila 2.	65
6.4. Ejemplo de la formula de transitividad. Paso 3: Autocompletado de la fila 3.	65
6.5. Widget de comparación tipo Matrix de SuperDecisions.	67
6.6. Widget de comparación tipo Questionnaire de SuperDecisions.	67
6.7. Widget de comparación de Logikos.	68
6.8. Widget de comparación propuesto para la nueva implementación de Lógikos.	69
6.9. Nuevo flujo de trabajo propuesto	70
7.1. Diagrama de clases UML del modelo de datos	75
8.1. Flujo del experimento	81
8.2. Gráfico de líneas representando el tiempo consumido por los sujetos al comparar con las diferentes herramientas.	82
8.3. Gráfico de líneas representando el número de interacciones realizadas por los sujetos al comparar con las diferentes herramientas.	83
8.4. Gráfico de torta representando los resultados de la primera pregunta del cuestionario.	85
8.5. Gráfico de torta representando los resultados de la segunda pregunta del cuestionario.	86

8.6. Gráfico de barras representando los resultados de la tercera pregunta del cuestionario.	87
8.7. Gráfico de barras representando los resultados de la cuarta pregunta del cuestionario.	88
8.8. Gráfico de barras representando los resultados de la quinta pregunta del cuestionario.	89
8.9. Gráfico de barras representando los resultados de la sexta pregunta del cuestionario.	90
8.10. Gráfico de barras representando los resultados de la séptima pregunta del cuestionario.	91
8.11. Gráfico de barras representando los resultados de la octava pregunta del cuestionario.	92
8.12. Gráfico de barras representando los resultados de la novena pregunta del cuestionario.	93
8.13. Gráfico de barras representando los resultados de la décima pregunta del cuestionario.	94
8.14. Gráfico de barras representando los resultados de la onceava pregunta del cuestionario.	95
8.15. Gráfico de barras representando los resultados de la doceava pregunta del cuestionario.	96
8.16. Gráfico de barras representando los resultados de la treceava pregunta del cuestionario.	97

Índice de cuadros

2.1. Matriz de decisión	17
2.2. Escala de valores de AHP	20
2.3. Valores RI (Random Index) para matrices de decisión de diferentes tamaños.	24
2.4. Ejemplo de compra de auto familiar - Tabla de comparaciones realizadas para criterios	26
2.5. Ejemplo de compra de auto familiar - Matriz de decisión para criterios	27
2.6. Ejemplo de compra de auto familiar - Ranking de criterios	27
2.7. Ejemplo de compra de auto familiar - Tabla de comparaciones y matriz de decisión para subcriterios de costo	27
2.8. Ejemplo de compra de auto familiar - Tabla de comparaciones de autos por precio de compra	28
2.9. Ejemplo de compra de auto familiar - Ranking de precio de compra	29
2.10. Ejemplo de compra de auto familiar - Tabla de comparaciones de autos por precio de mantenimiento	29
2.11. Ejemplo de compra de auto familiar - Ranking de precio de mantenimiento	30
2.12. Ejemplo de compra de auto familiar - Tabla de comparaciones de autos por capacidad	30

2.13. Ejemplo de compra de auto familiar - Ranking de capacidad	. 31
2.14. Ejemplo de compra de auto familiar - Tabla de comparaciones de autos por especificaciones técnicas 31
2.15. Ejemplo de compra de auto familiar - Ranking de especificaciones técnicas 32
2.16. Ejemplo de compra de auto familiar - Tabla de comparaciones de autos por diseño 32
2.17. Ejemplo de compra de auto familiar - Ranking de diseño	. . . 33
2.18. Ejemplo de compra de auto familiar - Ranking final de automoviles 34
6.1. Comparaciones de a pares de 4GB de RAM con otras capacidades posibles según comparación numérica y según un usuario. 60
8.1. Combinaciones posibles de escenarios y widgets 80
8.2. Porcentaje de comparaciones con niveles de consistencia aceptables y no aceptables para cada widget agrupado por tipo de criterio. 84