



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

POSGRADO EN CIENCIA E INGENIERÍA DE LA COMPUTACIÓN

MODELADO COMPUTACIONAL DE LA NAVEGACIÓN WEB  
BASADO EN EVIDENCIAS DEL ENTENDIMIENTO DEL  
USUARIO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS (COMPUTACIÓN)

P R E S E N T A :

Gustavo de la Cruz Martínez

Director de Tesis:  
Dr. Fernando Gamboa Rodríguez

México, D.F. 2012



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Resumen

El comportamiento e interacción del usuario de la web ha evolucionado desde el uso de recursos de información estáticos hacia el uso de aplicaciones dinámicas e interactivas. Por este motivo es necesario extender los estudios actuales sobre el comportamiento del usuario para mejorar la calidad de la interacción en la web.

En este trabajo, se estudia cómo la interacción del usuario puede ser usada para determinar su comprensión de la interfaz del sistema. Se discute porqué la comprensión del usuario de la interfaz es relevante para la toma de decisiones durante la navegación en la web. Luego de ello, se propone un modelo computacional para determinar la comprensión del usuario a partir del uso de la interfaz del sistema.

El modelo se basa en el principio de que el usuario interactúa con la interfaz para decodificar e interpretar el mensaje presentado en la interfaz, y gradualmente extraer del ella todos los significados codificados por el diseñador de la interfaz de usuario. Se discute la factibilidad de construir el modelo que se propone en base a las teorías semióticas de la interacción humano-computadora y modelos computacionales de la navegación web.

De esta forma, el modelo busca evidencia sobre la comprensión del usuario a partir de su interacción, usando una red bayesiana, se infiere la comprensión de los artefactos interactivos y se usa esta información para obtener conclusiones sobre el entendimiento de la interfaz y los conceptos de la tarea.

En los experimentos realizados, se uso el modelo para predecir la navegación del usuario para realizar una tarea específica y se compararon las predicciones con la interacción real de un usuario.

### Palabras clave

Modelado del usuario, modelado cognitivo de navegación web, minería de uso de la web.



## Abstract

The user behavior and interaction on the web have evolved from the use of static information resources to the use of dynamic and interactive applications. This is why it is necessary to extend the current studies of user web navigation behavior to improve the quality of web interaction.

In this work, we study how user interaction can be used to determine his/her comprehension of a system interface. We discuss why user comprehension of interface is relevant to take web navigation decisions. Then, we propose one computational model which determines user's comprehension through the usage of system's interface.

The model is based on the principle that users interact with the interface, in order to decode and interpret the message, and gradually unfolds from it all the meanings encoded by the user interface designers. Based on semiotic theories of human-computer interaction and web navigation models, the plausibility of the proposed model is discussed.

Thus, the model seeks evidence about the user comprehension on the user interaction; using Bayesian nets, it infers user interactive artifacts comprehension and uses this information in order to draw conclusions about interface and task concepts understanding.

In the first experiments, we use the model to predict user navigation and we compare predictions with real user interaction.

### Keywords

User modeling, web navigation cognitive modeling, web usage mining.



# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. El estudio de la interacción del usuario con las aplicaciones web . . . . .	2
1.2. Modelado cognitivo de la navegación web . . . . .	2
1.3. Enfoque semiótico de la IHC . . . . .	4
1.4. Objetivo e hipótesis de investigación . . . . .	4
1.5. Organización de la tesis . . . . .	5
<b>2. Estudios para entender la IHC en la web</b>	<b>7</b>
2.1. El estudio de la IHC . . . . .	8
2.1.1. La interfaz de usuario . . . . .	9
2.2. Guías, principios y teorías de la IHC . . . . .	10
2.3. El estudio la IHC . . . . .	11
2.3.1. Modelos de etapas de acción . . . . .	11
2.3.2. Modelo de Interfaz Objeto-Acción . . . . .	12
2.3.3. La interacción con las aplicaciones web . . . . .	13
2.4. Aplicación de las teorías . . . . .	15
2.5. Resumen . . . . .	16
<b>3. Análisis de la navegación web</b>	<b>17</b>
3.1. Modelado de la navegación web . . . . .	18
3.1.1. Personalización de la web . . . . .	18
3.1.2. Adaptación de la navegación en la web . . . . .	20
3.1.3. Interacción del humano con la información . . . . .	22
3.2. Modelos cognitivos computacionales de la web . . . . .	25

3.2.1.	SNIF-ACT . . . . .	25
3.2.2.	CoLiDeS . . . . .	28
3.2.3.	MESA . . . . .	29
3.2.4.	CoLiDeS+ . . . . .	31
3.3.	Observaciones a los modelos actuales . . . . .	32
3.4.	Resumen . . . . .	33
<b>4.</b>	<b>Caracterización semiótica de la IHC</b>	<b>35</b>
4.1.	La ingeniería semiótica . . . . .	35
4.2.	La interfaz de usuario y la visión del diseñador . . . . .	37
4.3.	Comprensión gradual de la interfaz de usuario . . . . .	38
4.3.1.	Semiosis y abducción . . . . .	38
4.3.2.	Evolución de la interpretación de la interfaz . . . . .	39
4.4.	Resumen . . . . .	40
<b>5.</b>	<b>Modelo computacional de la navegación web</b>	<b>43</b>
5.1.	Análisis semiótico de la navegación web . . . . .	44
5.2.	Modelo computacional de la navegación web . . . . .	47
5.2.1.	Descripción general del modelo . . . . .	48
5.2.2.	La visión del diseñador de la actividad del usuario . . . . .	50
5.2.3.	Evidencias del entendimiento del usuario . . . . .	55
5.2.4.	Observación del comportamiento del usuario . . . . .	61
5.2.5.	Inferencia del entendimiento del usuario . . . . .	63
5.2.6.	Decisiones de navegación del usuario . . . . .	68
5.3.	Resumen . . . . .	69
<b>6.</b>	<b>Arquitectura de evaluación</b>	<b>71</b>
6.1.	Método general de evaluación . . . . .	72
6.2.	Arquitectura de seguimiento y comparación . . . . .	74
6.2.1.	Tarea del usuario . . . . .	75
6.2.2.	Instrumentación . . . . .	76
6.2.3.	Modelo de simulación . . . . .	77



6.2.4. Comparación con el comportamiento del usuario . . . . .	77
6.3. Resumen . . . . .	78
<b>7. Casos de estudio</b>	<b>79</b>
7.1. Análisis del uso del sistema Moodle . . . . .	79
7.1.1. Estructura de la información de Moodle . . . . .	80
7.1.2. La tarea del usuario . . . . .	82
7.1.3. Evaluación del modelo . . . . .	86
7.1.4. Observaciones sobre la evaluación . . . . .	92
7.2. Análisis del uso del sistema de registro del ECOES . . . . .	93
7.2.1. Sistema de registro de candidatos del ECOES . . . . .	94
7.2.2. Modelado del sistema de registro . . . . .	96
7.2.3. Análisis del comportamiento del usuario . . . . .	97
7.2.4. Comentarios finales . . . . .	99
7.3. Resumen . . . . .	100
<b>8. Conclusiones</b>	<b>101</b>
8.1. Entendiendo la navegación web . . . . .	101
8.2. Metáfora de la comunicación para estudiar la IHC . . . . .	103
8.3. Modelado de la navegación web a partir de evidencias del entendimiento del usuario . . . . .	104
8.4. Observaciones generales . . . . .	105
8.5. Trabajo a futuro . . . . .	106
<b>A. Análisis del comportamiento del usuario</b>	<b>109</b>
A.1. Comportamiento del usuario . . . . .	109
A.2. Análisis del comportamiento del usuario web . . . . .	114
A.2.1. Análisis del comportamiento general . . . . .	115
A.2.2. Uso de artefactos para resolver una tarea . . . . .	121
A.3. Clasificación del comportamiento del usuario en un sistema web . . . . .	121
<b>B. Redes Bayesianas</b>	<b>123</b>
B.1. Presentación intuitiva . . . . .	123

B.2.	Definición de las redes bayesianas . . . . .	129
B.3.	Algoritmos de propagación de probabilidades . . . . .	130
B.3.1.	Propagación en redes con forma de árbol . . . . .	131
B.3.2.	Propagación mediante el algoritmo de agrupamiento . . . . .	133
<b>C.</b>	<b>WEKA</b>	<b>135</b>
C.1.	Introducción . . . . .	135
C.2.	Entorno de trabajo . . . . .	136
C.3.	Explorer . . . . .	137
C.3.1.	Preprocesamiento de datos . . . . .	137
C.3.2.	Clasificación . . . . .	141
C.3.3.	Agrupamiento . . . . .	143
C.3.4.	Búsqueda de asociaciones . . . . .	143
C.3.5.	Selección de Atributos . . . . .	143
C.3.6.	Visualización . . . . .	146
C.4.	Experimenter . . . . .	146
C.4.1.	Configuración . . . . .	148
C.4.2.	Ejecución . . . . .	148
C.4.3.	Análisis . . . . .	150
C.5.	Knowledge flow . . . . .	151
C.6.	Simple CLI . . . . .	152
<b>D.</b>	<b>Diseño de un sistema de ayuda personalizada</b>	<b>153</b>
D.1.	Ayuda contextual sobre la información que se debe capturar en el sistema .	153
D.2.	Sistema de reglas para la ayuda personalizada . . . . .	155
D.3.	Observaciones . . . . .	156

# Capítulo 1

## Introducción

Las teorías sobre la interacción humano-computadora (IHC) tienen el objetivo de caracterizar la interacción, los elementos y factores involucrados en ella, para facilitar la creación de descripciones y explicaciones comprensibles del fenómeno [82]. De acuerdo con esto, las teorías ayudan a mejorar el entendimiento de la IHC y son una herramienta fundamental para el diseño de los sistemas de información basados en computadora.

Las teorías son útiles en diversas formas. Podemos auxiliarnos de ellas para elegir los modelos y las arquitecturas de interacción adecuados a un problema en específico. Apoyan la evaluación de las interfaces y los mecanismos de interacción. Algunas teorías posibilitan la predicción de los posibles efectos de nuevos diseños de interacción. Así mismo, permiten la aplicación de conceptos generales de la IHC a nuevos contextos de interacción.

En el estudio de la interacción de las personas con las aplicaciones basadas en la web o aplicaciones web, las teorías sobre la IHC han permitido mejorar la experiencia del usuario al trabajar en la web. En el caso de las aplicaciones web comerciales se utilizan diversos modelos del comportamiento del usuario para ofrecer servicios más personalizados; por ejemplo, se pueden predecir los intereses de un usuario y recomendar algunos productos en base a las preferencias detectadas.

Se ha observado que ninguna teoría considera todos los aspectos del comportamiento del usuario, al contrario, cada una de estas teorías se enfoca en un número reducido de características del fenómeno y por tanto será incompleta. Por esta razón todas las teorías ayudan a entender sólo algunos aspectos de la IHC, por lo cual, con cada propuesta busca ampliar el entendimiento del comportamiento humano al interactuar con este tipo de sistemas de información.

## 1.1. El estudio de la interacción del usuario con las aplicaciones web

Haciendo de lado la interminable discusión entre las ventajas y desventajas de las aplicaciones web, es una realidad que la interacción con sus interfaces es cada vez más elaborada. Los diseñadores de las interfaces para la web cuentan con mayores posibilidades cada día y los usuarios han tenido que irse adaptando rápidamente a estas propuestas de interacción.

Este fenómeno de interacción del humano con las tecnologías de la web resulta de gran interés y ha sido objeto de estudio de diferentes áreas de investigación. De estos trabajos se han desprendido teorías que tratan de generar un mejor entendimiento de la interacción de una persona con la interfaz de la aplicación y con la información misma.

Tradicionalmente, la interacción de las personas con las aplicaciones web es conocida como *navegación web*. Consideraremos que la navegación web involucra desde la revisión de páginas web, el seguimiento de ligas, el uso de motores de búsqueda, hasta el empleo de las herramientas mismas del navegador. A las teorías enfocadas en entender y caracterizar el comportamiento de los usuarios cuando interactúan con las aplicaciones web se le denomina *modelado de la navegación web*, en este tipo de propuestas enfocaremos este trabajo.

Las distintas teorías sobre la interacción del usuario con la web se enfocan en sólo ciertos aspectos de este fenómeno. Por ejemplo, considerando que en la web existe gran cantidad de información disponible y es difícil que el usuario determine fácilmente su relevancia y veracidad, se ha estudiado cómo atender a las necesidades específicas de cada usuario [60]. Por otro lado, teniendo en cuenta que, en general, el esquema de navegación de los sitios web es el mismo para todos los usuarios, se han desarrollado tecnologías que buscan dar apoyo al usuario durante la navegación adaptándose a los objetivos, preferencias y conocimiento de forma individual para cada usuario [17].

En este trabajo consideraremos aquellas teorías que tratan de caracterizar el comportamiento de un usuario cuando busca información en la web, particularmente las teorías que describen cómo un usuario recupera información en la red y qué factores determinan sus elecciones durante la navegación de un sitio web.

## 1.2. Modelado cognitivo de la navegación web

Pirolli [75] indica que un modelo enfocado en entender y predecir la manera en que los usuarios navegan en un sitio web, necesita considerar cómo las personas perciben esta estructura de información y cómo las asocian con sus objetivos, ya que la manera en que la entiendan determina la forma en que interactuarán con su interfaz para tratar de alcanzar sus objetivos. Bajo esta perspectiva, los *modelos cognitivos de la navegación web* buscan describir la manera en que un usuario analiza y reacciona ante el contenido de una página web. Estos modelos tratan de dar sentido a los elementos de una interfaz web, en términos

de su significado y utilidad para el usuario al momento de realizar sus actividades.

Nielsen y Loranger [66] mencionan que el concepto de *rastreo de la información* (information foraging) ha sido uno de las propuestas más importantes que ha surgido de los estudios en el campo de la IHC en los últimos años. La *teoría de rastreo de la información* (information foraging theory; [76]) describe a la especie humana como hambrienta de información y dada la gran cantidad de información disponible en internet, la navegación web se convierte en una forma útil para encontrar aquella que satisfaga sus necesidades.

Este enfoque considera que cuando la gente recorre la web en busca de información, basa sus decisiones de navegación en la evaluación de las pistas del *rastro de la información* (information scent) asociadas con los elementos de la interfaz. Estas pistas se refieren a la información que comunican los textos cortos y gráficos asociados con los vínculos o ligas en una página web [75]. De acuerdo a esto, los usuarios usan las pistas que están presentes en las páginas que se van visitando para tomar sus decisiones sobre dónde buscar la información que les interesa. La suposición más importante de estos modelos es que la medida del rastro de información brinda una forma de predecir cómo los usuarios evaluarán los diferentes vínculos en una página web y, como una consecuencia, la probabilidad de que una liga en particular sea utilizada.

Los investigadores que usan estas ideas han propuesto modelos matemáticos para describir la manera en que el usuario elige las zonas donde busca la información que le interesa. Existen distintos modelos computacionales que se enfocan en simular el comportamiento del usuario al momento de navegar en la web para resolver una tarea específica. Aunque varios de estos modelos no fueron desarrollados explícitamente siguiendo la *teoría de rastreo de la información*, su comportamiento tiene la misma base: la evaluación de las diferentes ligas para elegir la que aproxime más al usuario a sus objetivos.

El modelo cognitivo computacional desarrollado por Pirolli y Fu [72], llamado Scent-based Navigation and Information Foraging in the ACT architecture (SNIF-ACT), simula el comportamiento de usuarios que realizan una serie de tareas en la web. Su modelo predice sus decisiones de navegación, es decir, que vínculo elegir o cuándo abandonar el sitio web basándose en el rastro de la información de cada página.

La propuesta de Kitajima et al. [42], conocida como Comprehension-based Linked model of Deliberate Search (CoLiDeS), mide el *rastro de la información* de una página web en particular, con respecto a los objetivos del usuario. CoLiDeS considera la página como una colección de zonas [43] y usa el rastro de la información para elegir cuál zona debe explorarse.

Oostendorp y Juvina [68] proponen que el contexto de navegación en una sesión influye en la manera para determinar la relevancia de una página en particular para alcanzar los objetivos del usuario. Su modelo (COLIDES+) describe el uso de *lo apropiado de la ruta* (path adequacy), que se refiere a la relevancia de una ruta de navegación con respecto a los objetivos del usuarios. En adición a esta medida plantean el uso del rastro de la información en el modelado de la navegación web.

Esta coincidencia en su comportamiento ha permitido que los distintos autores reali-

cen comparaciones entre ellos e indiquen cuando su modelo puede ser complementado por otro.

Este tipo de modelos cognitivos han mostrado un buen desempeño en la descripción y predicción de la navegación web del usuario cuando sus objetivos están orientados a la búsqueda de información y la interacción se basa en el uso de vínculos, pero dejan fuera de su análisis aspectos relacionados con el uso de otros objetos interactivos de una interfaz web que no sean ligas a otros documentos.

Kitajima, Polson y Blackmoon [44] menciona que los modelos de navegación web basados en la *teoría de rastreo de la información* fallan cuando el *rastro de la información* no es significativo, es decir, cuando los textos de las ligas no son suficientemente significativos para que el usuario pueda elegir el más adecuado. Por ejemplo, cuando existen diversas ligas con fuerte *rastro de la información* que no son parte de la solución, o cuando una liga adecuada tiene un bajo *rastro de la información* provocando que dicha área sea ignorada en el proceso de navegación.

### 1.3. Enfoque semiótico de la IHC

Las investigaciones semióticas se han enfocado en entender cómo la gente usa los signos para comunicar [26]. La ingeniería semiótica presenta un análisis semiótico de la IHC, acentuando el hecho de que los diseñadores de software interactivo comunican su visión del usuario a través de la interfaz de usuario [84]. El mensaje es codificado por medio de los signos de la interfaz (palabras, iconos, organización gráfica, sonidos, y demás componentes interactivos). Conforme el usuario interactúa con el sistema, va descubriendo e interpretando este mensaje. Las propiedades y comportamiento de los signos de la interfaz permiten al usuario entender que es lo que el sistema hace y cómo lo puede usar.

A partir de la interacción, el usuario constantemente genera y revisa su comprensión de la interfaz. Se espera que esta comprensión se aproxime al significado correcto y esto permita que el usuario alcance sus objetivos.

### 1.4. Objetivo e hipótesis de investigación

Desde el punto de vista de la ingeniería semiótica [84], los diseñadores de IHC deben apoyar al usuario para dar alcance a sus objetivos a través de la comunicación de: los diversos objetivos que el sistema le permite lograr, los distintos métodos que puede usar para alcanzar sus objetivos, los signos de la interfaz que puede usar para propiciar que el sistema realice los pasos del método de interacción que ha elegido, y los signos que conforman la respuesta a su interacción. De esta forma el comportamiento del usuario puede verse como una respuesta al mensaje que el diseñador le presenta en la forma de la interfaz. Utilizando esta metáfora de la interacción, el uso de la interfaz puede arrojar evidencias sobre lo que el usuario ha ido comprendiendo sobre la interfaz.

El objetivo de este trabajo es buscar evidencias acerca de cómo el usuario utiliza su entendimiento de una interfaz web para tomar sus decisiones durante la navegación. Para ello construimos un modelo computacional que permite describir cómo se interactúa con una interfaz web, cómo esta interacción modifica el conocimiento del usuario sobre dicha interfaz y cómo este conocimiento influye en sus decisiones durante la navegación en esta aplicación web.

La hipótesis central de nuestro trabajo indica que a partir del análisis de la interacción con los objetos interactivos (ligas, botones, menús) de una interfaz de usuario es posible encontrar evidencias del entendimiento general de la interfaz de usuario (IU), es decir, qué tareas se pueden resolver y cómo hacerlo.

De esta manera, la observación de la interacción nos permite construir un modelo cognitivo computacional del entendimiento de la IU.

Ya que nuestro interés es buscar evidencias del entendimiento del usuario sobre el mensaje que el diseñador presenta a través de la interfaz, nuestro modelo deberá considerar como punto de referencia una representación de la visión del diseñador de la interfaz.

A partir de la interacción haremos inferencias sobre lo que el usuario va entendiendo acerca de la interfaz. Finalmente se requerirá de un esquema de comparación entre la propuesta del diseñador y lo que se va infiriendo sobre el usuario.

## 1.5. Organización de la tesis

En este trabajo se estudia el impacto que tiene la información que comunican los componentes interactivos de la interfaz para el entendimiento de la interfaz y por tanto en la navegación web. Analizamos trabajos que discuten sobre cómo el usuario *interpreta, aprende, usa y adopta* esta información para construir su interpretación de una interfaz de usuario. Con base en este análisis definimos un modelo de la interacción de una persona con una interfaz de usuario web, que posibilita la descripción de la manera en que el usuario usa y relaciona los artefactos interactivos de la interfaz al realizar su tarea. De acuerdo con nuestra hipótesis esta información aporta evidencia sobre el entendimiento de la interfaz que el usuario va alcanzando al interactuar con la interfaz. Una vez determinado el grado de entendimiento de la interfaz, tratamos de predecir cómo el usuario interactuará cuando utilice una interfaz de usuario.

Este trabajo está organizado de la siguiente forma:

- Capítulo 2. En este capítulo se discute sobre la importancia de las teorías que describen el comportamiento de las personas cuando usan las aplicaciones web.
- Capítulo 3. Se describe el trabajo previo relacionado con el modelado de la navegación web, a partir de este análisis identificamos una oportunidad para complementar los modelos actuales sobre entendimiento de la IHC en la web.

- Capítulo 4. Se presenta el enfoque semiótico de la IHC como una herramienta para estudiar la interacción con la interfaz de usuario. Siguiendo este enfoque podemos describir parte del comportamiento del usuario y analizar cómo toma sus decisiones de navegación.
- Capítulo 5. Con base en el análisis realizado en los capítulos anteriores, definimos un modelo de la interacción de una persona con una interfaz de usuario web, que posibilita la descripción de la manera en que el usuario usa y relaciona los artefactos interactivos de la interfaz al realizar su tarea. De acuerdo con nuestra hipótesis esta información aporta evidencia sobre el entendimiento de la interfaz que el usuario va alcanzando al interactuar con la interfaz. Una vez determinado el grado de entendimiento de la interfaz, tratamos de predecir cómo el usuario interactuará cuando utilice una interfaz de usuario.
- Capítulo 6. Para la evaluación del desempeño de nuestro modelo utilizaremos el esquema descrito por Pirolli et al [73]. Su modelo describe un método para la evaluación de modelos computacionales cognitivo-perceptual basado en la comparación de las predicciones de un modelo contra el comportamiento observado en un grupo de usuarios. Para este trabajo se adaptó la arquitectura de seguimiento del usuario de acuerdo a las características de nuestro modelo.
- Capítulo 7. Para validar nuestro modelo de la navegación web consideramos dos casos de estudio: análisis del uso del sistema gestor de cursos moodle y el sistema de registro candidatos a becas del ECOES.
- Capítulo 8. Concluimos nuestro trabajo con un análisis del modelo propuesto, observaciones a los experimentos realizados y el trabajo futuro.



## Capítulo 2

# Estudios para entender la interacción humano-computadora en la web

En la literatura se señala el creciente uso de la computadora en actividades muy diversas, pero también se indica el incremento de la complejidad de los sistemas de cómputo y sus interfaces. Se ha identificado que un gran número de usuarios de las computadoras experimentan problemas atribuibles, en muchos casos, a la interfaz de usuario. Estos problemas van desde confusiones con el uso de los objetos, hasta la incompreensión de los mensajes mediante los cuales el sistema informa su estado al usuario. Un claro ejemplo de estos problemas son los mensajes de error de una aplicación, con frecuencia incomprensibles para el usuario medio.

Los diseñadores de interfaces de usuario cuentan con diferentes herramientas para crear nuevas propuestas de interacción, las cuales podemos agrupar en dos categorías generales: 1) estudios que describen la interacción entre el usuario y la computadora, y 2) nuevas tecnologías que buscan apoyar la interacción. En el primer caso, existen propuestas teóricas que han ayudado a la definición de los procesos de diseño [39] [78], principios de diseño [66] [91], [32], [92], [94], patrones de diseño de la interfaz de usuario [89] y evaluaciones de uso de la interfaz [90], [54], estos planteamientos tienen la finalidad de proveer a los diseñadores de una serie de herramientas que les permitan generar mejores propuestas de interacción. En el segundo caso, con el desarrollo y uso de nuevas tecnologías se busca resolver problemáticas específicas de la interacción [10] [6] [50] [36].

En este trabajo nos enfocaremos en las propuestas teóricas que nos permiten entender la interacción humano-computadora en el contexto de las aplicaciones web. Por tal motivo, en este capítulo se estudia el contexto general de las teorías de la interacción humano-computadora y concluimos señalando la importancia de complementar los modelos actuales para tener un mejor entendimiento de este fenómeno de interacción.

## 2.1. El estudio de la interacción humano-computadora

De acuerdo con el grupo de interacción humano-computadora de la ACM (SIGCHI), la interacción humano-computadora es una disciplina relacionada con el diseño, evaluación e implementación de sistemas de cómputo interactivos para uso humano y con el estudio de los fenómenos a su alrededor [1]. Algunos de los elementos que se pueden tomar en cuenta en este estudio son: la realización conjunta de tareas entre humanos y máquinas; la estructura de la comunicación entre humanos y máquinas; las capacidades humanas para usar máquinas (incluido el aprendizaje de la interfaz); algoritmos y programación de la interfaz; aspectos de diseño y construcción de las interfaces; el proceso de especificación, diseño e implementación de las interfaces; análisis de ventajas y desventajas.

Debido a que se estudia la forma en que se da la comunicación entre un humano y una máquina, es necesario describir el proceso desde ambas perspectivas. Del lado de la máquina se cuenta con técnicas de graficación por computadora, sistemas operativos, lenguajes de programación y ambientes de desarrollo. Del lado del humano se cuenta con teorías de la comunicación, diseño gráfico e industrial, lingüística, ciencias sociales y psicología cognitiva.

En la evolución de la relación del humano y la computadora han intervenido diversos factores, por lo que pueden observarse diferentes periodos de evolución de la Interacción Humano-Computadora. Los más significativos son los siguientes:

**Periodo 1.** En este periodo lo más importante era obtener los mayores beneficios de los recursos de hardware y software disponibles. La interacción con el usuario no era una prioridad y tenía que adaptarse a los limitados medios para interactuar con las computadoras (terminales de texto y riguroso uso de comandos).

**Periodo 2.** Con la llegada de nuevos avances tecnológicos las capacidades de cómputo se incrementaron, lo mismo que el acceso a las minicomputadoras y redes de computadoras. Las terminales se mejoraron, con lo que hubo un beneficio inmediato para los usuarios. Con esta apertura a los usuarios se presentaron los primeros intentos para tomar en cuenta las necesidades de los usuarios.

**Periodo 3.** Finalmente el usuario empezó a tener mayor importancia y la tecnología se puso al servicio de las necesidades del usuario. Fueron necesarias métricas para determinar cuales son los mejores diseños, así como procedimientos para la evaluación de la IHC. Se comenzó a considerar la efectividad, eficiencia y organización de la interfaz en relación a las necesidades del usuario.

En este panorama de la evolución de la IHC podemos indicar dos tendencias que han generado las condiciones que existen en la actualidad. Por un lado se observa el incremento del uso de los sistemas de cómputo en una amplia variedad de propósitos y por el otro el incremento en la complejidad de los sistemas.

La utilización de los sistemas de cómputo en áreas tan diversas ha propiciado que durante el desarrollo de los sistemas de cómputo se considere como uno de sus requerimientos importantes el diseño de una interfaz de usuario acorde a la tarea del usuario. Dado que los recursos de los equipos de cómputo son más accesibles que en los primeros años de la era de las computadoras, los sistemas de cómputo hacen uso de estas ventajas y ofrecen cada vez más funciones, por tanto se producen sistemas más complejos que requieren de interfaces de usuario más sofisticadas.

### 2.1.1. La interfaz de usuario

La interfaz de usuario es el medio a través del cual un usuario humano y una computadora pueden comunicarse e interactuar. Por tal razón, es necesario proveer al usuario de interfaces que faciliten esta comunicación e interacción; adicionalmente, se requieren interfaces que permitan entender y apoyar a la realización de la tarea de las personas, a partir de las funciones disponibles en el sistema.

Para el diseño de la interfaz de usuario se consideran las necesidades y cualidades del tipo de persona que interactuará con la interfaz del sistema de cómputo, conocido como usuario final. Debido a que se considera el punto de vista del usuario promedio y se define un único comportamiento para todos los usuarios, en la mayoría de las interfaces existe una falta de personalización y manejo de diferencias entre usuarios.

El proceso general de diseño de una interfaz de usuario incluye la definición de las funciones del sistema orientadas a la tarea del usuario, el uso de lineamientos generales para la conceptualización de la interfaz y la evaluación con los usuarios.

Para la definición de la tarea se producen diferentes modelos que ayudan al entendimiento del sistema: modelo del usuario, modelo del diseño, modelo mental y modelo de la implementación [78]. Con el modelo del usuario se busca entender las características (edad, sexo, habilidades físicas, educación, antecedentes culturales o étnicos, motivaciones, objetivos, personalidad) o perfil del usuario que realizará la tarea o usuario final. En el modelo del diseño se especifican datos, arquitectura y funcionamiento específico (procedimientos) para resolver la tarea. El modelo mental es la percepción del sistema por parte del usuario final. El modelo de la implementación debe combinar la información del usuario y de la tarea (reglas y definiciones) buscando que este modelo coincida con el modelo mental.

Generalmente se considera que el proceso de desarrollo de una interfaz de usuario es iterativo y se representa con un modelo espiral. Este proceso tradicionalmente involucra cuatro actividades [51]:

1. Análisis y modelado de usuarios, tareas y el ambiente.
2. Diseño de la interfaz.
3. Construcción de la interfaz.
4. Validación de la interfaz.

En cada iteración cada una de las actividades se van refinando. En la actividad de análisis y modelado se define el modelo del usuario y las características físicas del ambiente de trabajo, con esto se crea un modelo del análisis de la interfaz para continuar con el diseño de la misma. En el diseño se definirán los objetos y las acciones necesarias para que el usuario realice sus tareas. En la mayoría de las ocasiones la construcción de la interfaz parte de la creación de prototipos que permitan la evaluación de aspectos específicos de la interfaz de usuario. En la validación se determina la capacidad de la interfaz para implementar correctamente todas las tareas del usuario, la facilidad de uso y aprendizaje de la interfaz, y, finalmente, la aceptación por el usuario

## 2.2. Guías, principios y teorías de la interacción humano-computadora

Para el diseño de un sistema interactivo, el diseñador de software utiliza una serie de herramientas que le ayudan a definir las características del sistema en general y de la interfaz en particular. Estas herramientas incluyen a las guías, los principios de diseño y las teorías sobre la interacción humano-computadora [82].

**Guías.** Las guías recogen buenas prácticas derivadas de la experiencia práctica de los diseñadores de interfaces o de estudios empíricos, utilizan ejemplos y contraejemplos apropiados para explicar sus ideas. Algunas guías presentan recomendaciones para el diseño de la navegación [32], también se indican diversas consideraciones para fomentar la accesibilidad para usuarios con discapacidades [9], [91]. Existen guías dirigidas al diseño de la visualización, consideraciones que deben observarse para organizar la visualización de datos [83]. De la misma forma, hay recomendaciones que detallan varias técnicas para la obtención de la atención del usuario [93] y mecanismos para facilitar la entrada de datos por parte del usuario [83]. Este tipo de recomendaciones son descritas de manera general y pueden ser ampliadas de acuerdo a las necesidades específicas de cada sector de usuarios y tareas.

**Principios.** Uno de los principios más importante es conocer al usuario, es decir, determinar el nivel de competencia de cada usuario, esto se puede hacer mediante perfiles de la población que reflejen la edad, sexo, capacidades físicas y cognitivas, educación, trasfondo cultural y étnico, formación, motivación, objetivos y personalidad. Una de las separaciones más comunes es distinguir entre usuarios principiantes o nuevos, usuarios ocasionales con conocimiento y usuarios expertos habituales y esta caracterización se toma como referencia para definir los objetivos de diseño. Otro principio fundamental es la identificación de las tareas a realizar por parte del usuario, en este sentido se resalta la importancia de una efectiva descomposición de tareas para brindar el acceso a las tareas más frecuentes de forma eficiente al usuario. La selección del estilo de interacción adecuado también es parte importante del diseño de la interfaz; la caracterización de los estilos de interacción ayudan al diseñador en la selección del estilo más adecuado a la tarea. Por otra parte, con la ayuda de

las denominadas reglas de oro el diseñador cuenta con principios derivados de la experiencia, estas reglas las debe validar y adaptar a su problemática específica.

**Teorías.** Las teorías caracterizan la interacción, los elementos y factores involucrados, de esta manera el diseñador puede delimitar su problemática en un contexto bien definido y seleccionar los modelos y arquitecturas adecuados a su labor.

## 2.3. El estudio de la interacción humano-computadora

Para un tema tan amplio como la IHC ha sido necesario desarrollar muchas teorías. [82] señalan que una posible forma de agrupar las teorías es en descriptivas, explicativas y predictivas. Las teorías descriptivas y explicativas están orientadas a desarrollar una terminología consistente para objetos y acciones, así como los factores que influyen en las decisiones del usuario; son ampliamente usadas para comunicar las características de las propuesta de interacción y construir una abstracción del fenómeno para la situación que se está estudiando. Las teorías predictivas usan estas abstracciones para complementar la información sobre el usuario a partir de una base limitada de conocimiento base; estas teorías, por ejemplo, permiten a los diseñadores comparar propuestas de diseño sin tener que implementarlos completamente.

### 2.3.1. Modelos de etapas de acción

Una línea de investigación sobre la IHC ha propuesto caracterizar las *etapas de acción* que atraviesan los usuarios al intentar usar productos interactivos. Norman [67] identifica siete etapas de acción dentro de un ciclo:

1. Formulación del objetivo
2. Formulación de la intención
3. Especificación de la acción
4. Ejecución de la acción
5. Interpretación del estado del sistema
6. Evaluación del resultado

Este modelo de siete etapas apunta a la identificación de la brecha de ejecución (la diferencia entre las intenciones del usuario y las acciones permitidas) y la brecha de evaluación (la diferencia entre la representación del sistema y el entendimiento del usuario).

Este modelo lleva a Norman a sugerir cuatro principios para un buen diseño. Primero, el estado y las alternativas de acción deberían estar visibles. Segundo, debería haber

un buen modelo conceptual con una imagen del sistema consistente. Tercero, la interfaz debería incluir buenas correspondencias que pongan de manifiesto las relaciones entre etapas. Cuarto, los usuarios deberían recibir realimentación continua. Norman señala que a menudo, los errores ocurren al pasar de objetivos a intenciones y de acciones a su ejecución.

Se han desarrollado refinamientos del modelo de etapas de acción para otros dominios. Por ejemplo, para la búsqueda de información se han identificado las siguientes etapas [53]:

1. Reconocer y aceptar un problema de información
2. Definir y comprender el problema
3. Elegir el sistema búsqueda
4. Formular una consulta
5. Ejecutar la búsqueda
6. Examinar los resultados
7. Hacer valoraciones relevantes
8. Extraer información
9. Reflexionar/iterar/parar

### 2.3.2. Modelo de Interfaz Objeto-Acción

El modelo *interfaz objeto-acción* (object-action interface model OAI; [82]) hace énfasis en la importancia de la manipulación directa en las interfaces de usuario, donde la representación visual de objetos y acciones de la tarea del usuario permite que el usuario pueda alcanzar sus objetivos sin tener que aprender una larga lista de instrucciones o comandos para la computadora. Cabe mencionar que aunque en la manipulación directa también hay aspectos sintácticos que se deben conocer, como saber si un elemento se puede arrastrar o no, la cantidad de sintaxis es pequeña.

El modelo OAI es un modelo descriptivo y explicativo que se centra en objetos y acciones de tarea e interfaz. Este modelo parte de la descripción de la tarea del usuario mediante los objetos del mundo real que intervienen en ella y las acciones que se realizan con los objetos (figura 2.1). Los objetos y acciones se organizan de manera jerárquica. Los *objetos de tarea* de más alto nivel agrupan a los objetos de tarea que la componen y al final los objetos atómicos, por ejemplo una álbum fotográfico agrupa fotografías y una portada. Las *acciones de tarea* comienzan con intenciones de alto nivel que se descomponen en objetivos intermedios y pasos individuales.

Una vez que se tiene descrita la tarea a partir de sus objetos y acciones, se busca crear las representaciones metafóricas de tales objetos y acciones de la interfaz de usuario

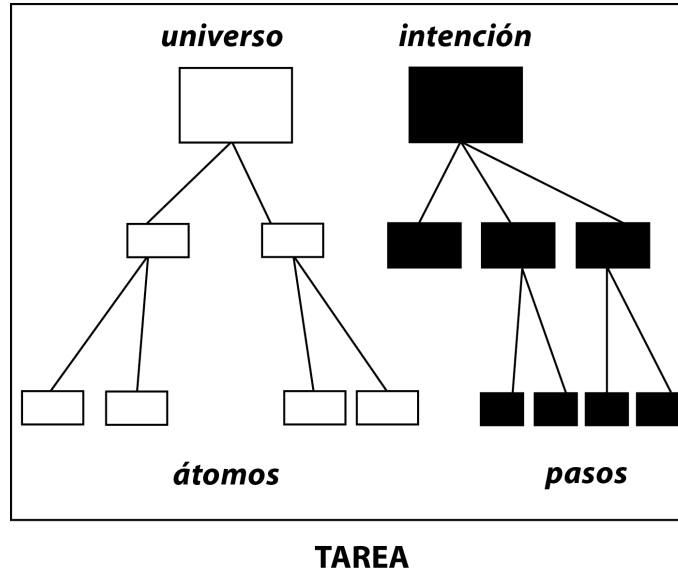


Figura 2.1: Descripción de la tarea del usuario

(figura 2.2). Para la selección de la representación de los *objetos de interfaz*, los diseñadores deben elegir aquella que permita al usuario asociarlos con los objetos del mundo real. La organización de las *tareas de interfaz* debe permitir al usuario crear un plan para completar su tarea mediante acciones específicas asociadas con los diferentes objetos de la interfaz.

Bajo este contexto se espera que los usuarios que conocen los objetos y acciones del dominio de tarea puedan aprender el uso de la interfaz de forma sencilla.

De acuerdo con Sheiderman y Plaisant, el modelo OAI nos ayuda a comprender los diversos procesos que deben producirse para que los usuarios tengan éxito al usar una interfaz para realizar una tarea. El modelo sostiene que para que una interfaz favorezca la realización de la tarea, los usuarios tienen que relacionar fácilmente su conocimiento sobre los objetos y acciones de tarea con los objetos y acciones de interfaz.

El principio de minimizar los conceptos de interfaz, haciendo uso de una representación visual de los objetos y acciones de tarea, será parte central del enfoque de manipulación directa para el diseño de interfaces.

### 2.3.3. La interacción con las aplicaciones web

Han habido muchos intentos por entender a los usuarios de la web y por desarrollar métodos para apoyar la usabilidad en la web, por ejemplo:

- Estudios empíricos que describen patrones de comportamiento de navegación en la web [38],

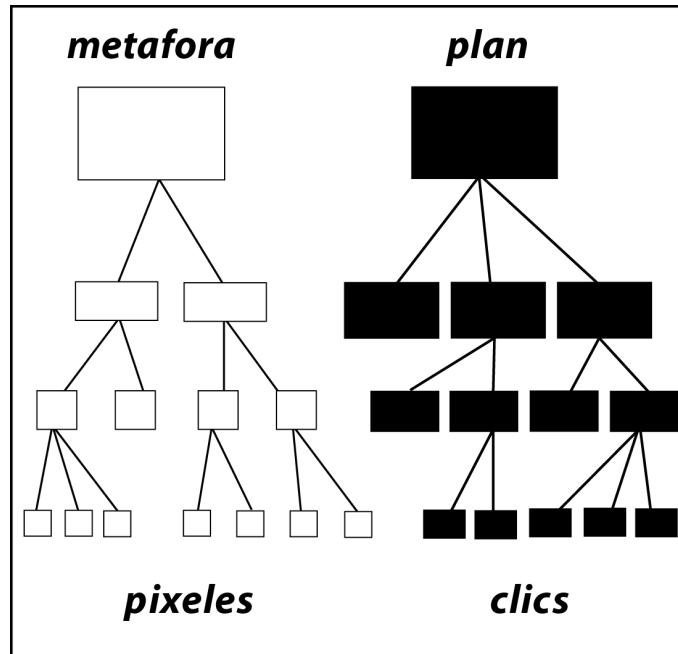


Figura 2.2: Representación de la interfaz

- Metodologías de usabilidad web que extraen buenas prácticas como métodos de evaluación para identificar problemas de usabilidad, contenido promedio de una página, reducción de sobrecarga cognitiva, guías de estilo de escritura y diseño gráfico [66].

Algunos de los problemas de estos esfuerzos se relacionan con el hecho de que no son universalmente aceptados, o bien, no han sido rigurosamente probados.

Shneiderman y Plaisant [82] indican que en el diseño de sitios web la claridad de su arquitectura de la información es un elemento fundamental para que el usuario pueda alcanzar sus objetivos mediante la navegación en el sitio. Por este motivo, el diseñador web debe comprender las tareas de los usuarios lo suficientemente bien como para diseñar un sitio de forma que los usuarios sean capaces de encontrar satisfactoriamente la ruta desde la página de inicio al destino correcto. De esta manera, se espera que si el usuario entiende la arquitectura de la información del sitio web entonces podrá interactuar de forma adecuada con él.

Tidwell [89] señala que la arquitectura de la información debe ser una de las primeras que se deben realizar cuando se diseña un sitio web, ya que la arquitectura de la información nos permite esbozar cómo estructurar todo el contenido y la funcionalidad. Uno de los objetivos al diseñar una arquitectura de la información debe ser que el usuario siempre sepa que debe hacer después, o al menos tenga una buena idea al observar la interfaz. Las elecciones que se realizan durante esta etapa deben considerar diversos factores: la naturaleza y el dominio de la aplicación, el conocimiento sobre este dominio del usuario, el nivel de experiencia y confort al utilizar la computadora, pero principalmente, se debe



considerar que la propuesta corresponda con el modelo mental que el usuario tiene de su tarea, es decir, lo que el usuario considera cierto para este contexto a partir de su experiencia previa o conocimiento (vocabulario, procedimientos, causas y efectos de sus acciones, categorías de objetos, etc.).

Nielsen y Loranger [66] indican que la gente suele cometer errores cuando utiliza sitios nuevos, pero la mayoría de la gente pasa su tiempo en sitios que reconoce como útiles, de modo que su éxito a lo largo de un día de uso de la web es mayor. Además, los usuarios escogen los sitios donde pasarán su tiempo basándose en su experiencia previa en ellos, de manera que aquellos sitios con mejor usabilidad tienen más posibilidades de ser elegidos. Una observación adicional es que los usuarios mejoran al utilizar los sitios que visitan habitualmente.

Así, el estudio de la interacción del usuario con la web ha ayudado a entender el comportamiento de los usuarios cuando interactúan con un sitio web desde muchas perspectivas: se han desarrollado estudios muy amplios sobre la usabilidad en la web [66], modelos computacionales que predicen el interés de los usuarios en los diferentes contenidos de un sitio, descripción de los patrones de interacción en la web.

## 2.4. Aplicación de las teorías

La utilidad de las teorías es ampliamente reconocida. Un diseñador puede auxiliarse de estas teorías para elegir los modelos y arquitecturas adecuados al problema que le ocupa. De la misma forma, permiten la aplicación de conceptos generales de la IHC a nuevos contextos de interacción.

Estas teorías también apoyan la evaluación de las interfaces y mecanismos de interacción. Las teorías han sido la base para el desarrollo de las revisiones de expertos, pruebas de usabilidad y pruebas de aceptación que permiten probar y revisar las interfaces de usuario de los sistemas de información [82]. Así mismo, hacen posible la evaluación automática de interfaces de usuario [77] [13].

Otras teorías posibilitan la predicción de los posibles efectos de nuevos diseños de interacción, por ejemplo, un diseñador puede usar estas teorías para probar y explicar los efectos de diferentes propuestas de interacción antes de invertir tiempo y recursos en implementarla y evaluarla.

Los materiales educativos que facilitan la adquisición de este conocimiento son difíciles de diseñar, debido especialmente a la diversidad de conocimiento base y a los niveles de motivación de los usuarios típicos. El modelo OAI de conocimiento del usuario puede proporcionar una guía para los diseñadores educativos destacando las diferentes clases de conocimiento que los usuarios necesitan adquirir.

Los diseñadores de sistemas interactivos pueden aplicar el modelo OAI para sistematizar su trabajo. Allí donde sea posible, deberían hacerse explícitos los objetos de tarea y presentar claramente las acciones de tarea de los usuarios. Luego, pueden identificarse

los objetos y acciones de interfaz y crearse representaciones apropiadas. Es probable que estos diseños incrementen la comprensión de los usuarios y la independencia de hardware específico. Están surgiendo criterios de diseño de calidad basados en el hecho de que un pequeño número de objetos y acciones tienden a ser más fáciles de aprender, esto resalta el hecho de que los diseñadores deben pensar muy bien cuántos objetos usar y cuántas acciones diferentes son necesarias.

Las aplicaciones web hacen uso de estos modelos para mejorar la interacción con los usuarios. En el caso de las aplicaciones web comerciales se utilizan los modelos del comportamiento del usuario para ofrecer un mejor servicio; por ejemplo, un modelo predictivo puede ayudar a determinar el interés en los productos, mientras que un modelo explicativo es una herramienta útil para entender porqué los usuarios visitan y abandonan un sitio web. En el área de aplicaciones web educativas se busca apoyar las actividades de aprendizaje a partir del conocimiento que se obtenga del usuario.

## 2.5. Resumen

Esta primera revisión nos ha permitido reconocer las características del campo interacción humano-computadora, identificando una serie de necesidades y líneas de investigación específicas.

Ninguna teoría considera todos los aspectos del comportamiento del usuario, en general cada una de estas teorías se enfoca en un número reducido de características del fenómeno y por tanto será incompleta. Por esta razón todas las teorías ayudan a entender sólo algunos aspectos de la IHC, así con cada propuesta se busca ampliar el entendimiento del comportamiento humano al interactuar con los sistemas de información basados en computadora.

En el caso del estudio de la interacción de las personas con la web, también se han propuesto modelos descriptivos, explicativos y predictivos. Los descriptivos y explicativos se centran en estudiar los factores que impactan la interacción, por ejemplo, se tratan de describir y explicar cómo los usuarios toman sus decisiones cuando están navegando en la web. En el caso de los modelos predictivos, se trata de inferir información acerca de los usuarios (intereses, preferencias de interacción, conocimiento, entre otros).

En el siguiente capítulo se describen más a detalle las teorías relacionadas con la interacción de las personas con las aplicaciones web. Para concluir este capítulo cabe resaltar la necesidad de seguir estudiando el comportamiento de los usuarios, ya que cada uno de estos posibles aportes nos permitirá entender este fenómeno y así tener mas elementos para diseñar una mejor experiencia para las personas.

## Capítulo 3

# Análisis de la navegación web

El creciente uso de la web ha provocado que diversos investigadores se interesen en los fenómenos que se producen a su alrededor: cómo es el comportamiento de los usuarios cuando buscan información en internet [74], cómo determinar cuando un usuario está perdido durante su exploración de la web [4], cómo mejorar la eficiencia de la estructura de navegación propuesta de un sitio [35]; patrones en el comportamiento de los usuarios en las nuevas propuestas de interacción [92] [94], [63], cómo se usan los servicios, cómo se interrelacionan entre sí, etc.

Uno de los temas que resultan de interés es cómo los usuarios interactúan con las interfaces de estos servicios. Si bien, existen líneas bien establecidas acerca de las consideraciones que se deben observar para que las interfaces sean usables [32], el modelado de la navegación web van más allá.

Newell y Card [65] indican que algunas de las ventajas del desarrollo de teorías sobre el acceso a la información y la interacción con las interfaces son:

- Las teorías ayudan a alcanzar un mejor entendimiento de la interacción con la información y la interfaz en general,
- Posibilitan la predicción de los efectos de nuevos diseños, es decir, un diseñador puede usar estas teorías para probar y explicar los efectos de diferentes opciones de diseño antes de invertir tiempo y recursos en implementarla y evaluarla.
- Pueden ayudar a la aplicación de conceptos más generales de la IHC a los requerimientos de interacción actuales. Aunque algunos de los modelos no pueden ser aplicados directamente por diseñadores y desarrolladores, nos proporcionan modelos sólidos para diseñar e implementar nuevos esquemas de interacción.

En el caso de la web, una de las principales actividades que las personas realizan es la denominada *navegación web*, la cual involucra una mezcla de actividades cómo revisión

de páginas web, seguimiento de ligas, uso de motores de búsqueda y de las herramientas del navegador [75], por ejemplo los controles del historial y marcadores.

En este capítulo se revisarán algunas de las teorías más importantes del estudio de la navegación web. En la primera sección se describe el problema de la navegación web y los enfoques que se han utilizado para estudiar el problema. En la segunda sección se describe el enfoque que se utilizará en este trabajo: el modelado cognitivo de la navegación web. Finalmente, concluiremos haciendo algunas observaciones sobre los modelos actuales.

### 3.1. Modelado de la navegación web

Los diferentes enfoques utilizados al analizar el fenómeno de interacción de una persona con la web han generado distintas líneas de investigación. Por ejemplo, considerando que en la web existe gran cantidad de información disponible y que es difícil que el usuario determine fácilmente su relevancia y veracidad, se ha estudiado cómo atender a las necesidades específicas de cada usuario [60]. Por otro lado, teniendo en cuenta que, en general, el esquema de navegación de los sitios web es el mismo para todos los usuarios, se han desarrollado tecnologías que buscan dar apoyo al usuario durante la navegación a partir de la adaptación a los objetivos, preferencias y conocimiento de forma individual para cada usuario [17]. Otro enfoque más estudia el comportamiento de las personas cuando interactúan con información en la web, es decir, cómo un usuario llega a la información o servicio en la web y qué factores determinan sus elecciones durante la navegación [75].

#### 3.1.1. Personalización de la web

Desde los primeros años de la aparición de la web se ha presentado un problema importante: la misma información es presentada a todos sus usuarios [62]. Por ejemplo, los sitios web muestran los mismos contenidos a todos sus visitantes, los servicios de noticias envían la misma información a sus suscriptores, una misma consulta en un buscador que arroja los mismos resultados sin importar las diferencias de usuarios. En ese contexto, las diferentes investigaciones que han estudiado la manera de ofrecer una respuesta acorde a las necesidades de los usuarios, se le conoce como el área de *personalización web* [60], o *hipermedia adaptativa* [17].

De acuerdo con Anand y Mobasher [5], el objetivo de la personalización web es proveer a los usuarios con lo que quieren o necesitan sin tener que preguntar explícitamente por ello. Para alcanzar este objetivo se hace uso de toda la información disponible sobre el usuario, misma que es estructurada y organizada de acuerdo a las características que se desean observar. De acuerdo con este enfoque, en la personalización de la web se pueden utilizar técnicas de la minería de datos para analizar la información del usuario y descubrir información sobre su interacción con documentos y servicios de la web [45]. Por lo cual, este tipo de trabajos se pueden clasificar dentro del área de minería de la web.

Una de las líneas de interés en esta área es la personalización del contenido web. Este

campo se interesa en la problemática de determinar la relevancia y veracidad de la gran cantidad de información disponible en la Web [61]. Los desarrollos que siguen estas ideas consideran que, aunque existen avances en el área de recuperación de la información, no se atiende a las necesidades específicas de cada usuario, es decir, se producen los mismos resultados para una misma consulta sin considerar quién es el usuario [30].

Bajo esta línea de trabajo, una de las aplicaciones más tradicionales de la personalización web es la recomendación de elementos o cualquier tipo de información. De manera simplificada podemos decir que el proceso de recomendación realiza inferencias a partir de las interacciones del usuario, anteriores y la actual; lo que implica que el sistema debe de saber cómo obtener información del usuario y cómo hacer inferencias a partir de ella. El objetivo de estos sistemas de recomendación es sugerir información de forma específica para cada usuario de acuerdo a las inferencias realizadas [6].

Mobasher [60] [61] sugiere que, desde el punto de vista arquitectónico y algorítmico, la personalización puede ser: sistemas basados en reglas, sistemas basados en contenido y sistemas de filtrado colaborativo.

**Sistemas basados en reglas.** Utilizan reglas generadas de forma automática o manual para hacer la recomendación de los elementos. En el caso de la generación de reglas de forma manual, se utilizan procesos de ingeniería del conocimiento para construir las reglas base del sistema y los perfiles se van construyendo a partir de la interacción con el usuario. Adicionalmente, se usan técnicas de aprendizaje de máquina que permiten clasificar a los usuarios de acuerdo a diversas categorías, que son la base de la aplicación de las reglas. Se usa la descripción del usuario y su interacción para determinar sus intereses.

**Sistemas basados en contenido.** El perfil del usuario está descrito en términos de la descripción del contenido de los elementos (características o atributos). En general se compara el perfil del usuario con los elementos no vistos o no clasificados. El perfil del usuario y los elementos son representados como un vector de características y pesos. Las predicciones de interés se calculan a partir de vectores de similitud o cálculos probabilísticos.

**Sistemas de filtrado colaborativo.** Generalmente relacionan la clasificación de los objetos del usuario actual, denominado *usuario activo*, con usuarios similares para realizar las recomendaciones de objetos que no han sido vistos o clasificados por el usuario activo. La mayoría del trabajo de minería de datos para la personalización se considera como una extensión del filtrado colaborativo. En este caso se toma como información de referencia la información de navegación del usuario y junto con el modelo del usuario se puede predecir el comportamiento del usuario o generar recomendaciones.

### 3.1.2. Adaptación de la navegación en la web

Con la adaptación de la navegación en la web se busca ofrecer una alternativa a los problemas derivados de contar “un mismo diseño para todos los usuarios” en lo que refiere al diseño de las aplicaciones web. Para lograr esto se pueden considerar los objetivos, intereses y el conocimiento individual de cada usuario, y cómo representarlos en un modelo de usuario individual [18] as como el contexto específico de la tarea [19].

La adaptación en los sistemas web ha explorado un gran número de tecnologías implementados de diversas maneras. Billsus y Pazzani [11] describen diferentes tecnologías para la personalización del acceso a los servicios de noticias; Linden et al. [48] discute cómo se pueden usar las preferencias de cada cliente para la recomendación eficiente de productos; Micarelli et al. [56] presenta como los sistemas de búsqueda personalizada pueden mejorar la experiencia del usuario cuando busca información en la web. Aunque las propuestas se han enfocado en problemas distintos comparten la misma idea: adaptar la presentación del contenido de acuerdo a los objetivos, conocimiento y preferencias de cada usuario.

Las primeras clasificaciones datan de mediados de la década de 1990 [16] y se han ido adaptando a los nuevos avances en el área. Brusilovski [18] clasifica en cinco principales tecnologías y cuatro mecanismos comúnmente usados para la adaptación. Las tecnologías para la adaptación de la web que Brusilovski señala son:

**Guía directa (direct guidance).** La guía directa sugiere el contenido más adecuado para el usuario de acuerdo a sus características representadas en el modelo del usuario. En la interfaz, la guía directa puede enfatizar los vínculos de posible interés en la página o bien generar los vínculos recomendados.

**Ordenar vínculos (link ordering).** Esta propuesta se enfoca en darle un nivel de prioridad a todos los vínculos de una página en particular, el nivel de prioridad estará en función de las características que estén representadas en el modelo del usuario y un criterio de valoración.

**Ocultar vínculos (link hiding).** Con esta tecnología se busca restringir el espacio de navegación ocultando, eliminando o deshabilitando los vínculos a páginas consideradas irrelevantes.

**Explicar vínculos (link annotation)** . La idea básica de esta tecnología es complementar los vínculos con alguna explicación en forma de nota o comentario, lo cual le permite al usuario conocer más sobre los nodos asociados a los vínculos.

**Generar vínculos (link generation).** La generación de vínculos propone la creación de nuevos vínculos en el sistema. Se distinguen tres tipo de vínculos generados:

1. Nuevos vínculos interesantes descubiertos entre los documentos y agregados de forma permanente al sistema;

2. Vínculos entre elementos generados a partir de una similitud basada en la navegación; y
3. Recomendación de vínculos de acuerdo al contexto actual para el modelo de usuario.

La manera en que se implementan cada uno de las propuestas anteriores ha variado según las tecnologías disponibles. De acuerdo con la clasificación de Brusilovski, los mecanismos más usados para presentar la información y completar la información necesaria para la adaptación de la navegación son:

**Mecanismos de adaptación simple.** Este tipo de mecanismo no utiliza algoritmos de adaptación avanzados. Los ejemplos típicos son:

**Mecanismos basados en la historia.** Estas propuestas tratan de brindar información sobre los acciones que se han hecho, llevan un control de las veces que se ha accedido a un documento y representan visualmente esta información;

**Mecanismos basados en eventos.** Su idea fundamental es relacionar ligas con eventos, una vez que se produce un evento la apariencia de una liga puede cambiar; y

**Mecanismos basados en el progreso.** Su objetivo es extender el principio de los mecanismos basados en historia, llevando un control de las acciones del usuario desde un nivel semántico más alto, por ejemplo, observando las acciones del usuario se puede identificar el nivel de exploración de un sitio web e indicar de manera visual el progreso del usuario.

**Mecanismos basados en contenido.** Se hacen sugerencias al usuario sobre la siguiente página a visitar a partir del contenido de ellas. La mayoría de estos mecanismos genera de forma automática vectores de palabras clave y los compara con el perfil del usuario. El seguimiento de las páginas es considerado como evidencia de interés, lo que permite la actualización del perfil del usuario.

**Mecanismos sociales.** Los mecanismos sociales se basan en la noción de la navegación social, es decir, la tendencia de las personas a seguir de manera directa o indirecta las actividades de otros, noción de la cual se desprenden la distinción de la navegación social directa o indirecta. En la *navegación social directa* la interacción entre los usuarios se da de forma explícita entre unos y otros en un espacio. En la *navegación social indirecta* la información del comportamiento de los usuarios guiará a los nuevos usuarios.

**Mecanismos basados en índices.** Al igual que los mecanismos basados en contenido, este tipo de mecanismos maneja información relacionada a cada página que será utilizada para guiar al usuario. En este caso, la información sobre los contenidos no se produce de forma automática, sino que es especificada de manera manual y se basa en una serie de conceptos bien definidos, lo cual brinda mayor precisión.

Shneiderman y Plaisant [82] hacen una serie de observaciones sobre la adaptación en los sistemas:

1. Se ha observado que los usuarios buscan sistemas comprensibles y predecibles, un comportamiento inesperado, aunque sólo sea ocasional, tiene efectos negativos en la aceptación de la aplicación por parte del usuario.
2. Ante la toma del control por parte del sistema surge una cuestión sobre la responsabilidad ante fallos, ¿quién es el responsable de la falla?

Plantean también que como un complemento a la adaptación automática se podría monitorear la actividad del sistema, así como el uso de paneles de control que permitan establecer preferencias y restricciones al funcionamiento de la adaptación. De esta forma, los usuarios serán capaces de predecir el siguiente cambio, interpretar qué ha sucedido o devolver el sistema a su estado previo. También se hace hincapié en la necesidad de consultar al usuario antes de que se realizara un cambio, aunque tales intrusiones podrían interrumpir y molestar a los usuarios.

### 3.1.3. Interacción del humano con la información

El interés de la Interacción Humano Computadora hacia un enfoque centrado en la información se ha originado por la presencia constante de los servicios de información, la transparencia de las interfaces de usuario, la convergencia de las tecnologías de envío de información y la tendencia hacia la computación ubicua [49]. Esto puede observarse en la posibilidad de acceso a internet de manera casi permanente, la forma cada vez más transparente para el usuario de la colaboración entre aplicaciones de cómputo, la convergencia de medios tecnológicos y medios de comunicación y ambientes cada vez más numerosos con dispositivos de cómputo en prácticamente todo lugar. De esta manera, conforme la computadora se vuelve más invisible, la cantidad de información es mayor y más prevalente.

La rama de la interacción humano-información (IHI) se deriva de IHC, y se interesa en cómo la gente interactúa y procesa información que le es accesible proveniente de un ambiente externo como es la web [71]. La IHI adopta un enfoque centrado en la información, más que un enfoque centrado en la computadora. Se conforma de un amplio conjunto de teorías de arquitecturas cognitivas, las cuales proveen la base para *modelos cognitivos ingenieriles* (cognitive engineering models) que pueden ser utilizados para hacer predicciones sobre el uso de la tecnología y el diseño de la información.

Uno de los ejemplos más conocidos de este tipo de modelos cognitivos ingenieriles es la propuesta de Card et al. [20] “the model human processor”, el cual consta de un conjunto de memorias y procesadores, y un conjunto de principios de operación; el modelo consta de tres subsistemas para la captación de las percepciones, la realización de acciones y las operaciones cognitivas. La idea fundamental es que la información del mundo es capturada a través de los motores perceptuales y llevada hacia el almacenamiento



visual y auditivo. Parte de la información permanece en la memoria de trabajo, para ser operada por el procesador cognitivo. El procesador cognitivo identifica relaciones entre la información de la memoria de trabajo y la memoria de largo plazo y las usa para tomar decisiones y formular acciones. Las acciones producidas en la memoria de trabajo inician los procesadores motores para llevar a cabo la acción en el mundo.

La información será entendida en relación con el uso que las personas le den, de modo que aspectos como la intencionalidad, la psicología y la actividad humana, serán cruciales para darle sentido al estudio de la interacción humano-información.

Pirolli [71] indica que la ingeniería cognitiva en el dominio de la IHC y la IHI se basa en la idea de que la psicología puede ayudar a predecir el impacto de diferentes diseños tecnológicos; es decir, que los modelos cognitivos ingenieriles se han desarrollado para responder preguntas como:

- ¿Cuánto tiempo se tarda en realizar una tarea elemental, como insertar, borrar o mover texto?
- ¿Cuánto se tarda en aprender las habilidades requeridas para el uso de un buscador?
- ¿Puede ser transferido el conocimiento de una aplicación a otra?
- ¿Puede un usuario ser capaz de entender cómo realizar una tarea sin una explicación explícita?
- ¿Qué tan difícil le es a un usuario encontrar la información en un sitio?

Los modelos cognitivos ingenieriles se basan en la noción de que la predicción es una muestra de la comprensión y del control sobre los fenómenos del interés. Así, un diseñador con un modelo ingenieril a su disposición pueden explorar y explicar los efectos cuantitativos y cualitativos de diversas decisiones de diseño, antes de la implementación de la propuesta. Estos modelos permiten tomar decisiones más informadas que aquellas basadas únicamente en la intuición.

### **Teoría del rastreo de la información**

La *teoría de rastreo de la información* [76] describe a la especie humana como "hambrienta" de información, y dada la gran cantidad de información disponible en internet, la navegación web se convierte en una forma útil para encontrar aquella información que satisfaga sus necesidades [72].

Este enfoque considera que cuando la gente recorre la web en busca de información, basa sus decisiones de navegación en la evaluación de las pistas del *rastro de la información* (information scent) asociadas con los elementos de la interfaz.

El comportamiento del *rastreo de la información* dependerá a menudo de la evaluación que se haga entre los beneficios de la utilidad y los costos de perseguir la información.

En la exploración de la web por información, la gente lleva a cabo dicha evaluación a partir de las señales que deja el rastro de la información asociado con las ligas entre las páginas. En efecto, las señales del rastro de la información son los pequeños textos y gráficos que están asociados a cada una de las ligas disponibles. En principio, estas señales están diseñadas para representar lo mejor posible el contenido que será encontrado al elegir una liga de una página. Cuando la navegación se hace siguiendo ligas, el usuario utiliza estas señales para tomar sus decisiones de navegación.

Nielsen y Loranger ilustran el concepto de seguimiento del rastro de la información de la siguiente forma: “Hablando de forma figurada, el usuario estima su probabilidad de éxito en la caza a través del rastro, evaluando si su ruta muestra señales del resultado deseado. Los cazadores de información seguirán haciendo clic mientras continúen teniendo la sensación de que se están acercando. El rastro deberá ir aumentando o si no se darán por vencidos. Su progreso deberá ser lo suficientemente rápido para que merezca la pena el esfuerzo necesario para alcanzar el objetivo” [66] pág. 70.

Este tipo de comportamiento está basado en lo que Anderson [8] denomina *análisis racional*. De acuerdo con el análisis racional de uso del rastro de la información, se plantea que el usuario de la web debe:

1. Elegir la acción de navegación más efectiva y útil basándose en la relación de su necesidad de información y las pistas próximas percibidas (rastros de la información) asociadas con las ligas de la web;
2. Decidir cuándo continuar en un sitio web o abandonarlo en base a la percepción de la utilidad y costos potenciales del sitio.

Los modelos de elección racional, especialmente aquellos basados en la teoría de rastreo óptimo (optimal foraging theory) [88] y microeconomía [55], se usan para predecir el comportamiento racional para este tipo de problemas. Las estimaciones costo-beneficio involucradas en los problemas web de este tipo se pueden basar un Modelo de Utilidad Racional (Rational Utility Model [55])

El análisis racional del rastreo de la información en la web indica:

1. Qué problemas se derivan de las tareas y ambientes de información
2. Por qué estos comportamientos (decisiones, acciones, políticas y estrategias) son óptimas.

Los investigadores que usan esta teoría han propuesto modelos matemáticos para describir la manera en que el usuario elige las zonas donde busca la información que le interesa. Se considera que la medida del rastro de la información proporciona una forma para predecir cómo el usuario evaluará las diferentes ligas en una página web y, como una consecuencia, la probabilidad que una liga sea elegida [72]. Esta misma medida puede

ser utilizada para determinar cuando las personas deciden abandonar una zona y regresar a otra visitada anteriormente o bien cuando abandonar por completo un sitio web para buscar una mejor fuente de información.

En la siguiente sección se describen algunos modelos cognitivos ingenieriles que estudian la navegación web.

## 3.2. Modelos cognitivos computacionales de la navegación web

Pirolli [75] indica que un modelo enfocado en entender y predecir la manera en que los usuarios navegan sobre la web, necesita considerar cómo las personas perciben estas estructuras de información con respecto a sus objetivos, ya que su percepción determina su conducta al tratar de alcanzar sus objetivos. Bajo esta perspectiva, los modelos cognitivos de la navegación web buscan describir la manera en que un usuario analiza y reacciona ante el contenido de una página web. Estos modelos tratan de dar sentido a los elementos de una interfaz web, en términos de su significado y utilidad para el usuario al momento de realizar sus actividades.

### 3.2.1. SNIF-ACT

El modelo cognitivo computacional Scent-based Navigation and Information Foraging in the ACT architecture (SNIF-ACT), desarrollado por Pirolli y Fu [72], es una propuesta para entender de mejor forma la navegación web. El desarrollo de SNIF-ACT está basado en la *teoría de rastreo de la información* y el concepto de *análisis racional* descritos en la sección anterior. SNIF-ACT se enfoca en modelar cómo los usuarios toman sus decisiones de navegación cuando exploran varias páginas, hasta que encuentran lo que están buscando o abandonan esas páginas. Estas decisiones de navegación pueden ser cuál liga seguir, o cuándo abandonar un camino que se ha explorado, regresando a una página previa, otro sitio web o utilizando otro buscador.

SNIF-ACT extiende el ambiente ACT-R [7]. ACT-R es una arquitectura diseñada para modelar la psicología humana y contiene tres elementos básicos: 1) representación del conocimiento, 2) aplicación del conocimiento, 3) adquisición del conocimiento. La arquitectura básica de SNIF-ACT incluye una *memoria declarativa* y una *memoria procedural*. La memoria declarativa contiene conocimiento declarativo, y la memoria procedural contiene conocimiento sobre cómo llevar a cabo una tarea.

El conocimiento declarativo corresponde a las cosas que estamos conscientes y que podemos describir a otros. En el caso de la navegación web se refiere al contenido de las ligas o funcionamiento de los botones del navegador. En la arquitectura ACT-R el conocimiento declarativo se representa mediante *bloques* (chunks). Los autores de SNIF-ACT usan una representación de redes semánticas para representar gráficamente este tipo de conocimiento. La figura 3.1 muestra un fragmento del conocimiento que se utilizó en

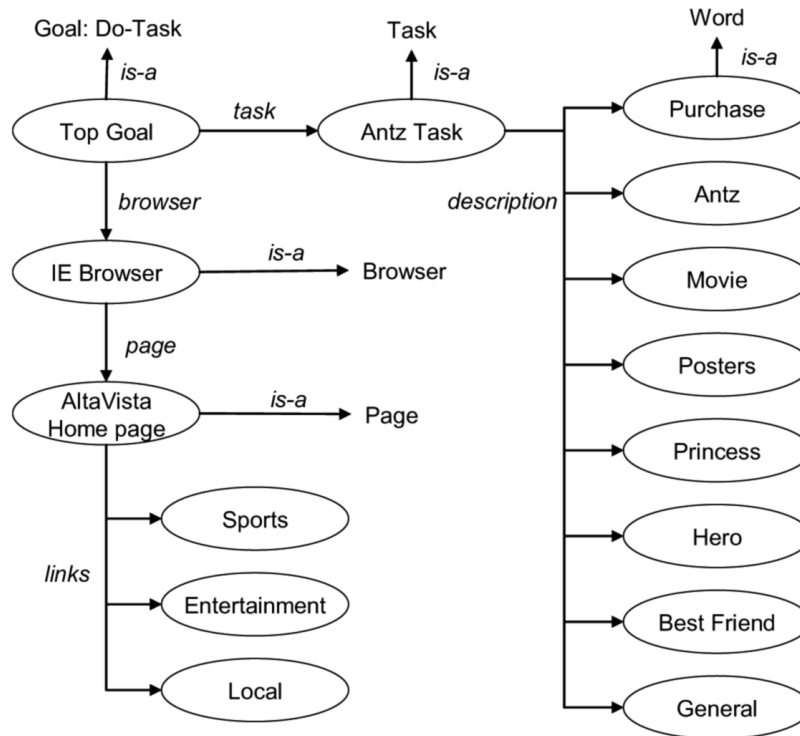


Figura 3.1: Fragmento de conocimiento declarativo de SNIF-ACT [75]

las pruebas de SNIF-ACT 1.0. El modelo maneja una pila de objetivos que representa las intenciones del usuario. SNIF-ACT tratará de alcanzar el objetivo que se encuentra en el tope de la pila y por tanto sólo considera un sólo objetivo a la vez.

Como el objetivo de SNIF-ACT no es modelar cómo los usuarios aprenden a usar un navegador y los buscadores, entonces, el modelo asume que ya se cuenta con todo el conocimiento necesario para usarlo, por lo cual, este conocimiento siempre estará presente en el conocimiento declarativo.

El conocimiento procedural es el conocimiento que utilizamos durante nuestro comportamiento de forma inconsciente, por ejemplo cómo señalar con el ratón un elemento de un menú. El conocimiento procedural especifica como el conocimiento declarativo se transforma en comportamiento activo. En SNIF-ACT el conocimiento procedural se representa como reglas de producción (figura 3.2). Las reglas de producción especifican las acciones que se deben realizar para alcanzar un objetivo específico. Cuando hay más de una regla que pueda ser aplicada se utiliza como mecanismo de resolución de conflictos una función de utilidad y se elige a la regla que genere mejor utilidad

El funcionamiento de SNIF-ACT se basa en la idea de que cuando los usuarios navegan en la web, continuamente van evaluando la utilidad de las diferentes acciones que pueden realizar. Normalmente, ellos usan las pistas a su alrededor, como las imágenes

```
Start-Process-Page:
IF  the goal is Goal*Start-next-patch
    & there is a task description
    & there is a browser
    & the browser is on an unprocessed page
THEN Set & push a subgoal Goal*Process-page to the
     goal stack

Process-Links-on-Page:
IF  the goal is Goal*Process-page
    & there is a task description
    & there is a browser
    & there is an unprocessed link
THEN Set and push a subgoal Goal*Process-link to the
     goal stack

Attend-to-Link:
IF  the goal is Goal*Process-link
    & there is a task description
    & there is a browser
    & there is an unattended link
THEN Choose an unattended link and attend to it
```

Figura 3.2: Fragmento de conocimiento procedural de SNIF-ACT [75]

y los textos de las ligas, es decir, el *rastros de la información*. De esta manera, cuando SNIF-ACT analiza los textos que están disponibles en pantalla, los textos de las ligas van activando algunos bloques del conocimiento declarativo. Esta cantidad de activación se propaga hasta el bloque correspondiente a los objetivos y esto indica la relevancia de una liga para un objetivo.

La red de propagación de la activación de los bloques del conocimiento declarativo de SNIF-ACT se basa en una medida teórica de la información conocida como Pointwise Mutual Information (PMI) [52]. La cantidad de activación acumulada en el bloque objetivo es evaluada para la elección de una regla de producción.

### 3.2.2. CoLiDeS

Aunque la teoría de rastreo de la información describe a las personas como hambrientas de información, Kitajima et. al [44] indican que las personas en realidad consumen sólo la información que pueden entender, ya que la información es inútil para una persona hasta que la persona puede comprenderla. Señalan que además de las diferencias de conocimiento entre las personas, también varían sus estrategias de búsqueda y manejo de atención, su habilidad para categorizar la información y consecuentemente la habilidad para identificar diferentes áreas de información. Como resultado de estas diferencias en comprensión, habilidad y atención, las personas varían en su habilidad para comprender la información que encuentran en la web y, por tanto, su habilidad para encontrar información mediante la navegación.

El trabajo de Kitajima et al. [42] plantea la posibilidad de manejar estas diferencias de conocimiento general en su modelo Comprehension-based Linked model of Deliberate Search (CoLiDeS). CoLiDeS se basa en el modelo construcción-integración de Kintsch [41] para la comprensión de textos, planificación de acciones y resolución de problemas.

El proceso de construcción-integración hace referencia al proceso que siguen las personas cuando las representaciones significativas de entidades externas e internas (texto, objetos de interfaz y conexiones objeto-acción) son construidas y elaboradas a partir de información recuperada de la memoria y esto inicia un proceso de activación por propagación restringido por las necesidades a satisfacer (spreading activation constraint satisfaction process) que integra la información relevante y elimina la irrelevante.

CoLiDeS considera la página como una colección de zonas (patch) [43], llamadas subregiones en su primera versión [42], y usa el *rastros de la información* para elegir cuál zona debe explorarse.

CoLiDeS representa el conocimiento para describir los pasos para realizar la tarea, formulación de objetivos, identificación de la organización de las páginas web (layout), comprensión de las ligas, y ejecución de las acciones de navegación. Su red de activación incluye representaciones de objetivos, subobjetivos, elementos de pantalla y conocimiento proposicional, así como pares de objeto-acción. Los nodos están conectados por una red con pesos. La activación se propaga en proporción con el valor de la conexión. El valor de

la conexión entre los objetivos del usuario representa el rastro de la información.

CoLiDeS se basa en la suposición de que los usuarios realizan un proceso de dos pasos para cada una de sus acciones (clic sobre una liga, botón o similar) en una página web:

**Proceso de atención.** Donde se divide la página web en zonas, generando una descripción de cada zona a partir del contexto de la página (títulos y organización). A continuación, CoLiDeS le presta “atención” a la zona cuya descripción contenga mayor rastro de la información de acuerdo con el objetivo actual del usuario.

**Proceso de selección de acciones.** Selecciona y utiliza un elemento de la interfaz correspondiente a la zona sobre la cual se tiene la atención. Para la selección del elemento que se utilizará CoLiDeS construye una descripción de cada objeto de la zona que se está considerando y selecciona el elemento que se percibe como más similar al objetivo actual. Una vez elegido un elemento de la interfaz se construye una descripción de sus acciones válidas y se elige una.

Para el correcto funcionamiento de COLIDES es necesario que los títulos permitan construir una descripción de las zonas y que los textos de las ligas sean suficientemente útiles para obtener una descripción de cada una de ellas.

La propuesta de Kitajima et al. [42], mide el *rastro de la información* de una página web en particular, con respecto a los objetivos del usuario, basándose en tres factores: similitud semántica, frecuencia y emparejamiento literal. La similitud semántica se calcula basándose en el análisis semántico latente (Latent Semantic Analysis, LSA; [46]).

El modelo CoLiDeS ejemplifica una propuesta basada en la comprensión para predecir el rastreo de la información a un nivel los elementos atómicos de las páginas web, construido de abajo hacia arriba considerando siempre las acciones válidas que pueden realizarse en cada página web de forma individual.

De acuerdo con Kitajima et al. [44] SNIF-ACT y COLIDES son complementarios, ya que ambos inician con el objetivo del usuario definido como una necesidad de información. SNIF-ACT se enfoca en decisiones para rastrear un área de información, usualmente definida como un sitio web complejo, o abandonar dicha área de búsqueda por otras con niveles más altos de rastro de la información. SNIF-ACT calcula la utilidad de continuar dentro de la zona de información actual comparado con la obtenida de una página antes. SNIF-ACT considera a cada página web como una sola zona de información pero puede ser extendido a considerar una página como una colección de zonas siguiendo el modelo de COLIDES.

### 3.2.3. MESA

La propuesta de Miller y Remington [58], Method for Evaluating Site Architectures (MESA), simula el flujo de la navegación de los usuarios a través de la estructura de un

sitio web, o algún grupo de páginas web ligadas entre sí. MESA se enfoca en la navegación basada en ligas, ya que según sus autores sigue siendo la estrategia dominante para el rastreo de información en la Web.

La idea principal del modelo es que permita calcular el costo de navegación en estructuras web alternativas para una determinada tarea. Para obtener esto se enfoca en calcular la efectividad de diferentes estrategias de selección de ligas, partiendo de la relevancia de los vínculos de un sitio y su estructura.

El funcionamiento de MESA se basa en los siguientes principios:

**Principio de racionalidad.** Asume que los usuarios usan un comportamiento racional para solucionar problemas dentro de su ambiente.

**Principio de capacidad limitada.** Restringe el modelo para realizar sólo las operaciones que son cognitivas y físicamente factibles para el humano.

**Principio de simplicidad.** Favorece las soluciones menos complejas y con mejor rendimiento.

En el modelo de MESA se consideran las siguientes actividades como parte de la navegación web:

1. Identificación visual de las ligas en una página, el modelo considera que en el caso más simple las ligas se presentan en forma de lista, la cual implica un cierto orden cuando son evaluadas.
2. Determinar la relevancia de una liga dentro de la página, como en los modelos anteriores considera el caso donde el usuario compara el texto de la liga contra su objetivo.
3. Elegir una liga, en el modelo se considera que luego de determinar la relevancia de una liga es necesario decidir si se debe seguir a esa página o no, para ello se sugiere usar una estrategia basada en un umbral.
4. Determinar cuándo regresar a una página anterior para probar por un camino alternativo, teniendo en cuenta la posibilidad de que una liga no acerque al usuario a su objetivo el modelo considera que una vez que no hay ligas que sean útiles es mejor regresar a la página anterior.

Miller y Remington plantean la posibilidad de utilizar una estrategia oportunista para la selección de las ligas. Dicha estrategia consiste en disminuir temporalmente el umbral de relevancia cuando se hayan revisado todas las ligas disponibles en una página y no se haya encontrado una que lo aproxime al objetivo.

Teniendo en cuenta estos aspectos, el funcionamiento general de MESA es el siguiente:



1. Revisa las ligas en orden secuencial.
2. Si una liga excede un umbral interno, MESA selecciona la liga y va a la página que liga. De lo contrario, si no se rebasa el umbral, MESA continua revisando y analizando ligas.
3. Si se alcanza el final de la página sin elegir una liga, se vuelve a revisar la página con un umbral más bajo, con la posibilidad de repetir esto hasta que el umbral sea demasiado bajo o se encuentre una liga relevante.

Hasta el momento Miller y Remington no indican cómo calcular la relevancia de los vínculos y simplemente se asume que son un valor de entrada más. MESA requiere que la estructura web sea modelada manualmente para su simulación y no cuenta con mecanismos automáticos para calcular las relevancias de la liga.

#### 3.2.4. CoLiDeS+

En trabajos como el de Juvina y Oostendorp [37] se propone que la relevancia de los objetos de la interfaz no solo depende del conocimiento del usuario, sino que además se indica la importancia de considerar también el contexto de la navegación; por ejemplo, la historia de la interacción con las páginas del sitio. Esta propuesta ha sido explorada en modelos CoLiDeS+ [68], los cuales proponen analizar el recorrido del usuario por el sitio para determinar que tan cerca se encuentra de alcanzar su objetivo.

COLIDES+ se basa en el modelo COLIDES, pero extienden la idea de similaridad semántica al camino recorrido durante la navegación, este concepto lo llaman *lo adecuado del camino* (path adequacy). Oostendorp y Juvina plantean el concepto de *lo adecuado del camino* como un complemento del rastro de la información, debido a que el rastro de la información se relaciona con los elementos de información de la página, mientras que *lo adecuado del camino* indica la relevancia de las elecciones anteriores con respecto al objetivo.

El funcionamiento de COLIDES+ es el siguiente:

1. COLIDES+ recibe como entrada una descripción de tarea y se toma como el objetivo del usuario.
2. La página web que se está analizando es dividida en áreas y se elige una para comenzar la revisión.
3. Las ligas de esta área son evaluadas considerando la similaridad semántica con el objetivo del usuario para elegir la más relevante.
4. El elemento seleccionado se incorpora al camino de la navegación. En un segundo ciclo se calcula el valor de lo adecuado del camino utilizando la similaridad semántica entre el camino actual y el objetivo del usuario. Para evaluar si se obtiene una mejor

aproximación, se compara el nuevo camino con el anterior y si hay un incremento se elige utilizar dicha liga.

5. De lo contrario se busca una mejor opción en otra área.

### 3.3. Observaciones a los modelos actuales

Aunque varios de los modelos descritos en la sección anterior no fueron desarrollados explícitamente siguiendo la *teoría de rastreo de la información*, su comportamiento tiene la misma base: la evaluación de las diferentes ligas para elegir la que aproxime más al usuario a sus objetivos. Esta coincidencia en su comportamiento ha permitido que los distintos autores realicen comparaciones entre ellos e indiquen cuando su modelo puede ser complementado por otro.

Este tipo de modelos cognitivos han mostrado un buen desempeño en la descripción y predicción de la navegación web del usuario cuando sus objetivos están orientados a la búsqueda de información y la interacción se basa en el uso de vínculos, pero dejan fuera de su análisis aspectos relacionados con el uso de otros objetos interactivos de una interfaz web que no sean ligas a otros documentos, por ejemplo, botones e imágenes.

El modelo SNIF-ACT realiza un procesamiento secuencial de las ligas de una página web, comportamiento comúnmente observado en tareas donde se usa un buscador el cual regresa una lista de ligas de las cuales se debe elegir alguna. Los autores indican que aunque esta es una de las modalidades de interacción más comunes para la tarea de búsqueda de información, el procesamiento secuencial no aplica en ciertos tipos de páginas web [28].

Por su parte, CoLiDeS hace un análisis jerárquico de una página web, para ello se considera que las personas tienden a identificar primero las zonas de una página web, y de entre ellas eligen aquella que los puede aproximar más sus objetivos [12]. CoLiDeS funciona bien cuando el usuario es llevado hacia una zona de alto rastro de la información que contiene la liga que es parte de la solución, pero cuando se le lleva hacia una zona donde existen diversas ligas de alto rastro de la información que no son parte de la solución provocan que no se alcance el objetivo.

Otros problemas relacionados con el seguimiento de una ruta de exploración son:

- Cuando el usuario elige una zona de alto nivel de rastro de la información pero la liga adecuada tiene un bajo nivel de rastro de la información, siguiendo el modelo de racionalidad el usuario abandonará la zona sin utilizar la liga adecuada.
- Cuando los grupos de ligas se agrupan respecto a una categoría general con rastro de la información para muchos objetivos, puede ser que estas ligas tengan poca información para objetivos particulares.

En general, Kitajima, Polson y Blackmoon [44] mencionan que los modelos de navegación web basados en la *teoría de rastreo de la información* fallan cuando el *rastro*

*de la información* no es significativo, es decir, cuando los textos de las ligas no son suficientemente significativos para que el usuario pueda elegir el más adecuado. Por ejemplo, cuando existen diversas ligas con fuerte *rastros de la información* que no son parte de la solución, o cuando una liga adecuada tiene un bajo *rastros de la información* provocando que dicha área sea ignorada en el proceso de navegación.

### 3.4. Resumen

En este capítulo se describieron algunas de las teorías más importantes alrededor del estudio de la navegación web. Se discutió sobre los enfoques que podemos encontrar al revisar los trabajos de modelado de la navegación web.

Nuestro trabajo se relaciona con aquellas teorías que se pueden ubicar en torno a la teoría de rastreo de la información, esta teoría describe a la especie humana como hambrienta de información y considera a la web como una gran fuente de información, en este contexto la navegación web es el comportamiento que ayuda a satisfacer las necesidades de los usuarios. Los modelos cognitivos computacionales desarrollados siguiendo estas ideas utilizan modelos matemáticos para calcular y comparar la utilidad de la información que está en la web.

Modelos como SNIF-ACT [72] y CoLiDeS [44] predicen las acciones del usuario cuando intenta alcanzar sus objetivos utilizando la web, en base a la aparente utilidad de las opciones que le presenta cada página web. Este tipo de modelos analizan la relevancia de los objetos de la interfaz con respecto a los objetivos del usuario a partir del conocimiento esperado del usuario sobre la actividad a realizar.

Otros autores indican que hay situaciones en las cuales los textos de los vínculos no son suficientemente descriptivos para sus necesidades o al usuario no le es posible reconocer la relevancia de una liga a partir de esta descripción. El modelo de Miller y Remington [58] MESA, se enfoca en la efectividad de diferentes estrategias de selección de ligas, partiendo de la relevancia de los vínculos de un sitio y su estructura.

En trabajos como el de Juvina y Oostendorp [37] se propone complementar la noción del rastreo de la información considerando el contexto de la navegación. Así en su modelo CoLiDeS+ [68], proponen analizar el recorrido del usuario por el sitio para determinar que tan cerca se encuentra de alcanzar su objetivo.

Los autores de estos modelos cognitivos reportan buenos resultados al momento de comparar sus predicciones con el comportamiento de usuarios reales, también indican las limitaciones de sus propuestas y como los modelos se pueden complementar entre sí. Esto abre la posibilidad para estudiar los aspectos que están pendientes dentro del estudio de la navegación web.



## Capítulo 4

# Caracterización semiótica de la interacción humano-computadora

El campo de la semiótica se relaciona con la interacción humano-computadora (IHC), ya que en la IHC se estudian los procesos de significación e interpretación entre el hombre y la computadora. En particular, la ingeniería semiótica analiza los artefactos de la IHC, centrándose en los principios, los materiales, los procesos, los efectos y las posibilidades para producir un discurso entendible con un sistema de cómputo interactivo [84].

La ingeniería semiótica usa las teorías semióticas para caracterizar la IHC y por esa vía apoya la investigación y desarrollo de los sistemas interactivos. Existen diversos ejemplos que muestran como los conceptos semióticos pueden ser usados en el análisis de la IHC. En este trabajo nos basaremos en los conceptos relacionados con el entendimiento de la interfaz de usuario de un sistema interactivo.

En este capítulo se presenta la visión de la ingeniería semiótica de la IHC y se describe la interacción del usuario con una interfaz como un proceso comunicativo. Estos aspectos nos permitirán analizar la comprensión de la interfaz como un proceso que evoluciona con cada interacción.

### 4.1. La ingeniería semiótica

Las investigaciones semióticas se han enfocado en entender cómo la gente usa los signos para comunicar [26]. La perspectiva semiótica de la IHC se centra en el estudio de los signos. Bajo este panorama se considera que estos signos tendrán un objetivo concreto: son producidos e interpretados por individuos y grupos de diversos contextos culturales, psicológicos y sociales. Los signos están codificados en sistemas de significación naturales o artificiales de diferentes tipos y son usados para comunicar actitudes, intenciones y contenido en diversos medios.

De esta manera, la perspectiva semiótica de IHC se interesa en estudiar cómo el

conocimiento es obtenido, analizado, probado, usado o rechazado de acuerdo a las necesidades específicas de cada persona.

La ingeniería semiótica presenta un análisis semiótico de la IHC, acentuando el hecho de que los diseñadores de software interactivo comunican su visión del usuario a través de la interfaz de usuario [86]. El mensaje es codificado por medio de los signos de la interfaz (palabras, iconos, organización gráfica, sonidos, y demás componentes interactivos) y conforme el usuario interactúa con el sistema, la persona interpreta este mensaje. El diseñador debe ser capaz de comunicar al usuario qué significan los signos, a partir de un discurso construido con los elementos o artefactos de la interfaz, por consiguiente, se espera que los usuarios entiendan y respondan de acuerdo con este discurso.

En este sentido, la ingeniería semiótica puede complementar el trabajo del campo del diseño centrado en el usuario (DCU). En el DCU, el diseñador intenta identificar qué quiere y necesita el usuario; para ello, el diseñador hace uso de herramientas como el estudio del usuario y el análisis de la tarea para la construcción de un modelo de diseño que refleja tales deseos y necesidades. La propuesta del diseñador es plasmada en la interfaz del sistema y debe ser comprendida por el usuario para poder alcanzar sus objetivos. Es a partir de este entendimiento que el usuario genera su propia visión del sistema, denominada modelo del usuario.

En la ingeniería semiótica también se inicia detectando las necesidades del usuario, pero no sólo se busca construir el sistema; se intenta comunicar la visión del diseñador al usuario. Esta visión incluye cómo los usuarios pueden o deben interactuar con un sistema de cómputo para alcanzar sus objetivos.

Desde el punto de vista del diseño centrado en el usuario, se espera que la visión que construye el usuario (modelo del usuario), capture la esencia de la propuesta del diseñador (modelo de diseño). Desde el punto de vista de la ingeniería semiótica se espera que el diseñador y el usuario se entiendan y que el usuario encuentre útil y agradable la visión del diseñador.

De manera general, el modelo que se sigue en la ingeniería semiótica es:

1. Análisis del usuario, la tarea y el contexto.
2. Detección de qué se requiere para atender la tarea.
3. Construcción de una visión del problema.
4. Construcción de una imagen de esta visión.
5. El usuario interactúa con la imagen y responde al mensaje.

La ingeniería semiótica se enfoca más en los aspectos comunicativos que en los cognitivos de los procesos de la IHC. Así, el estudio de la interfaz de usuario analizará sus propiedades comunicativas, ya que esta función comunicativa será la base para que el usuario alcance sus objetivos. En resumen, la interfaz entrega el mensaje del diseñador acerca de cómo usar el sistema (qué signos utilizar) y porqué (efectos y ventajas).

## 4.2. La interfaz de usuario y la visión del diseñador

Una interfaz de usuario vista dentro de este panorama de la ingeniería semiótica puede ser considerada como una construcción o artefacto intelectual [84].

Es común la idea de que una interfaz de usuario es un tipo de herramienta, artefacto o construcción, sólo porque se utiliza para apoyar al usuario en la realización de una tarea; o bien, porque en ella se incluyen "herramientas" o las denominadas "barras de herramientas" para realizar actividades, que además hacen referencia explícita a artefactos concretos físicos.

De Souza [84] indica que una construcción intelectual tiene las siguientes características:

- Codifica un entendimiento particular o interpretación de una situación del problema.
- Codifica un conjunto particular de soluciones para la situación en cuestión.
- La codificación de ambos, la situación del problema y las soluciones correspondientes es fundamentalmente lingüística, es decir, basada en un sistema de símbolos (verbales, visuales, etc.) que pueden ser interpretados por reglas semánticas consistentes.
- El propósito final del artefacto puede ser alcanzado por sus usuarios únicamente si ellos pueden formular dicho propósito con el sistema lingüístico en el cual está codificado el artefacto, es decir, el usuario debe de ser capaz de entender y usar un sistema de codificación lingüística particular para explorar y efectuar las soluciones a través del artefacto.

Bajo este contexto, todas las construcciones intelectuales requieren que el productor y el consumidor usen el mismo lenguaje, un sistema de símbolos con un vocabulario, una gramática y un conjunto de reglas semánticas bien definidas.

De este modo, desde el punto de vista de la ingeniería semiótica, una interfaz puede ser considerada como una construcción intelectual, ya que el diseñador de una interfaz debe comunicar al usuario su interpretación de la tarea del usuario mediante una serie de artefactos, y espera que los usuarios entiendan y respondan de acuerdo con esta propuesta. Esta comunicación se apoya de los artefactos de la interfaz: numerosos mensajes codificados en palabras, gráficos, comportamientos, ayuda en línea y explicaciones.

Estos artefactos comunican un mensaje acerca de la tarea del usuario, denominada situación del problema. El mensaje es elaborado e integrado por el diseñador, por lo tanto representa la codificación del entendimiento particular de la situación del problema desde el punto de vista de dicho diseñador, así como de las soluciones propuestas por él. Esta visión del diseñador es proyectada por la imagen del sistema, la cual debe ser entendida y decodificada por el usuario para que pueda alcanzar sus objetivos. Se espera que la decodificación del mensaje presentado sea gradual y se derive de la interacción con la interfaz.

La decodificación de la imagen del sistema es fundamental para el éxito de una interfaz, si el diseño es implementado haciendo uso de conceptos familiares o relaciones intuitivas, se espera que el usuario pueda fácilmente identificar y recordar cómo trabaja el sistema. En general, el diseñador tratará de usar elementos metafóricos con un significado relacionado con la actividad del usuario, es decir, elementos de interfaz que ayuden a comunicar que es lo que el diseñador intenta expresar.

### 4.3. Comprensión gradual de la interfaz de usuario

Debido a que el diseñador no se encuentra presente cuando el usuario interactúa con la interfaz, los signos en ella y su comportamiento, son el único medio disponible para que el diseñador pueda indicar al usuario qué hace la aplicación y cómo usarla.

Aunque las interfaces de las aplicaciones de cómputo comparten un gran número de patrones de interacción, cada sistema tiene un único lenguaje interactivo. Este lenguaje debe ser aprendido por los usuarios en un proceso similar al aprendizaje de un segundo lenguaje. En otras palabras, el mensaje contiene el código completo en el cual fue diseñado por el diseñador y el usuario debe aprenderlo para poderse comunicar con el sistema.

Para facilitar la comprensión del usuario de los signos de la interfaz, los diseñadores guían la interpretación que ellos esperan que el usuario alcance. Los diseñadores se apoyan en la introducción de signos que se espera que produzcan la conceptualización esperada en la mente del usuario. A partir de la interacción y siguiendo estas guías, el usuario constantemente genera y revisa su comprensión de la interfaz.

#### 4.3.1. Semiosis y abducción

El proceso de generar y revisar constantemente significados se denomina semiosis. El concepto de semiosis surge a la par de los intentos por caracterizar al signo y al proceso de interpretación del mismo. La noción de semiosis se basa en la conceptualización de Peirce, que establece que un signo no es únicamente una estructura relacional entre significante y significado. En el planteamiento de Peirce, el signo es una representación por la cual alguien puede remitirse a un objeto [95]. Según Peirce en este proceso están involucrados tres elementos: el representamen (la representación de algo) relacionado con su objeto (aquello a lo que alude el representamen) y el interpretante (lo que produce el representamen en la mente de la persona).

Bajo este contexto, la semiosis es la interacción entre el representamen, el objeto y el interpretante [21]. El representamen es la expresión arbitraria de alguna cosa, que será un estímulo que alguien recibirá para formar el interpretante. La interpretación de cada signo implica la asociación de una representación con un significado, basándose en un código. A su vez, el interpretante da lugar a que el significado sea expresado por un significante; es decir, que se dé la adecuada traducción de un signo gracias a la relación con otro signo o conjunto de signos. Es necesario realizar esta traducción en circunstancias adecuadas,



esto es, dentro de las limitaciones y formas interpretativas que da el contexto.

Todo signo puede estar sujeto a una interpretación y ser instrumento para interpretar otro signo; en otras palabras, para determinar lo que es el interpretante de un signo, hay que denominarlo con otro signo, y así sucesivamente [27]. Esta es una función recursiva la cual será aplicada a sí misma cualquier número de veces, produciendo interpretaciones que serán el argumento de la siguiente aplicación de la función. La semiosis ilimitada constituirá un proceso en el que se produce la explicación de un signo en su propio significado; se lo remite a un interpretante que, a su vez, se refiere a otro interpretante y así sucesivamente hasta el infinito, descodificando el signo inicial de acuerdo a los fines de la comunicación desarrollada.

Entender el signo como momento de la semiosis implica considerarlo como el instrumento a través del cual el sujeto mismo se construye y se desconstruye continuamente. En el proceso de semiosis ilimitada no se puede interpretar una expresión sin traducirla a otros signos (sean o no del mismo sistema semiótico) de tal forma que el interpretante no solamente defina al interpretado de alguna manera, sino que a su vez deje conocer algo más del interpretado. Esta traducción de un signo en otra expresión es, a decir de Eco, el proceso de interpretación. Por ejemplo, mientras más pensemos sobre el significado de una cosa, más significados asociamos a ella.

Peirce indica que los procesos de decodificación y significación necesitan de la inferencia para su desarrollo, por lo tanto, se pueden encontrar fuertes similitudes con la abducción, vista como un proceso de razonamiento inferente. Para Eco la abducción representa “el intento aventurado de trazar un sistema de reglas de significación que permitan al signo adquirir su propio significado”. Cuando aplicamos la abducción para interpretar un signo construimos hipótesis sobre la base de premisas inciertas que se han asumido como válidas. La abducción es una herramienta efectiva para el desarrollo del conocimiento y de la interpretación del signo [95]. Sin embargo, nos lleva interpretaciones aproximadas y falibles, que pueden mejorarse y reformularse a partir de descubrimientos sucesivos.

De esta manera, los usuarios generan significados que pueden diferir de los del diseñador. Por lo tanto, los diseñadores deben tratar de diseñar sistemas de signos que sean fáciles de aprender, pero también eficientes y efectivos en la comunicación de su significado. Para facilitar el aprendizaje del usuario de los signos de la interfaz del sistema, los diseñadores deben guiar las interpretaciones que ellos esperan de los usuarios mediante la introducción de signos que tengan el potencial de disparar las abducciones consistentes en la mente del usuario.

#### **4.3.2. Evolución de la interpretación de la interfaz**

Al igual que toda comunicación humana, el mensaje del diseñador puede ser interpretado en formas diferentes a la que fue concebida por el diseñador. Tales diferencias en la interpretación pueden generar errores en el momento que se producen. Otros sin embargo, pueden aparecer mucho después.

También existen algunas interpretaciones distintas que pueden ser útiles para los usuarios, produciendo con esto una reutilización de los signos del mensaje del diseñador. La reutilización de un objeto no significa necesariamente una falla en el diseño, un mensaje siempre puede ser reinterpretado como parte de una actividad de rediseño donde está incluido el usuario.

La reutilización ejemplifica un concepto importante en la semiótica, la evolución del significado. El significado se convierte en un proceso que evoluciona y se vuelve impredecible, mas que un punto final abstracto que se puede alcanzar con el proceso de interpretación. Continuamente vamos generando significados que son constantemente revisados y elaborados como un resultado de nuestros descubrimientos a lo largo de la vida.

En cualquier instante del tiempo, si alguien nos pregunta cuales son nuestros significados, podemos dar nuestra comprensión actual, la cual puede cambiar en algo muy diferente conforme estos signos aparezcan en conjunto con otros que hagan notar que nuestros significados eran incompletos, incorrectos o simplemente se descubren nuevas relaciones.

De este modo, el entendimiento de la interfaz, el mensaje del diseñador, irá evolucionando de acuerdo a la experiencia del usuario, a la manera en que el usuario vaya descubriendo sus características y formulando las hipótesis sobre su funcionamiento. La interacción podrá reforzar o modificar este entendimiento, que siempre estará en una constante revisión.

La ingeniería de la semiótica considera la interacción a partir de artefactos que comunican un mensaje acerca de la comunicación misma. El mensaje es elaborado e integrado por el diseñador, el usuario interactúa con el mensaje y gradualmente decodifica el significado presentado por el diseñador.

#### 4.4. Resumen

La caracterización semiótica de la IHC resalta los aspectos comunicativos de este fenómeno. Este enfoque nos brinda un conjunto adicional de herramientas para analizar, investigar y desarrollar sistemas interactivos.

Considerando la interacción de una persona con la interfaz de usuario de un sistema interactivo, la ingeniería semiótica nos ayuda a estudiar cómo se lleva a cabo el proceso de comprensión de una interfaz por parte del usuario. Desde el punto de vista de la ingeniería semiótica, los diseñadores de software interactivo comunican su visión del usuario y su tarea a través de la interfaz de usuario. El discurso que el diseñador elabora e integra está representado por medio de los signos de la interfaz (palabras, iconos, organización gráfica, sonidos, y demás componentes interactivos). El usuario interactúa con el sistema y va interpretando el mensaje del diseñador.

Los diseñadores de IHC apoyan al usuario a alcanzar sus objetivos a través de la comunicación de las cualidades de sus propuestas: los diversos objetivos que el sistema

permite alcanzar, los métodos que pueden ser usados para alcanzarlos, los signos de la interfaz que pueden ser usados para llevar el sistema a realizar los varios pasos en un método, y los signos que le explican al usuario una respuesta a su interacción.

La interpretación del mensaje del diseñador se verá influenciada por los signos que se hayan elegido para la interfaz, pero la interacción será un factor importante. La respuesta a cada acción reforzará o modificará el entendimiento del usuario, quien gradualmente decodificará el mensaje del diseñador.



## Capítulo 5

# Modelo cognitivo computacional de la navegación web basado en evidencias del entendimiento del usuario

Como se mencionó en el capítulo 3, la interacción de las personas con la web ha sido ampliamente estudiada, de lo que se han derivado diferentes líneas de investigación específicas, pero que a su vez se encuentran estrechamente relacionadas entre sí. Es decir, no se puede pensar en una aplicación de hipermedia adaptable sin considerar una teoría sobre el modelado del usuario, de la misma forma que una teoría sobre modelado de intereses y preferencias del usuario es desarrollada y aplicada a un problema específico como la adaptación de una interfaz web para la lectura de noticias. Por tanto, cualquier modelo relacionado con la navegación web deberá considerar aspectos de otras propuestas, compartiendo sus limitaciones y partiendo de suposiciones similares.

En este trabajo se propone explorar la interacción de las personas con los sistemas interactivos de la web, apoyándonos de la ingeniería semiótica como una herramienta para analizar este fenómeno. Nuestro interés está centrado en analizar y buscar evidencias de cómo el usuario utiliza su entendimiento de una interfaz web para tomar sus decisiones durante la navegación en dicho sitio web.

El modelo computacional descrito en este capítulo está sustentado en 3 planteamientos: la teoría de rastreo de la información, la ingeniería semiótica y la minería del uso de la web. Bajo el marco de la teoría de rastreo de la información, asumiremos que nuestro usuario es movido por la necesidad de información esto implica que usa la interfaz para alcanzar un objetivo concreto y, por lo tanto, basará sus decisiones durante la navegación en los rastros que sea capaz de identificar en cada página; de manera adicional a esta idea, la ingeniería semiótica nos indica que para que el usuario sea capaz de entender estos rastros y toda la interfaz en general, deberá ir descubriendo de manera gradual los mensa-

jes codificados en la interfaz, lo cual se verá reflejado en su comportamiento; finalmente, la minería de uso de la web nos brinda las herramientas computacionales para analizar este comportamiento, de manera particular, nuestra propuesta hace uso de un algoritmo de agrupamiento para identificar los patrones de comportamiento de los usuarios al usar nuestra interfaz web y, las redes bayesianas para modelar el proceso de descubrimiento de la interfaz, ya que estas redes nos permiten representar la incertidumbre inherente del conocimiento del usuario acerca de la interfaz.

Con esta idea en mente, presentamos un modelo computacional que permite describir cómo se interactúa con una interfaz web, cómo esta interacción modifica el conocimiento del usuario sobre dicha interfaz y cómo este conocimiento influye en sus decisiones durante la navegación en esta aplicación web.

En este capítulo se describe cómo utilizamos las ideas presentadas en los capítulos anteriores para implementar de manera específica una primera versión del modelo del entendimiento del usuario a partir del análisis del comportamiento del usuario.

## 5.1. Análisis semiótico de la navegación web

En esta sección retomamos los conceptos revisados en los capítulos anteriores y los ponemos en el contexto de la navegación web. Esto nos permite sustentar la necesidad de complementar los modelos actuales y observar cómo la ingeniería semiótica se vuelve una herramienta de utilidad para esta tarea.

En el capítulo 3 se estableció que la navegación web es una actividad fundamental para que el usuario pueda alcanzar sus objetivos en la web. Cabe recordar que la navegación web involucra una mezcla de actividades propias de la web: revisión de páginas, interacción con formularios, seguimiento de ligas, uso de motores de búsqueda y de las herramientas que ofrece el navegador. Esto plantea un doble reto para el usuario y el diseñador: el usuario debe aprender el lenguaje del navegador y de los sitios web; el diseñador debe considerar que la interacción a través de los controles propios del navegador puede modificar su propuesta para la realización de la tarea. Adicionalmente a este hecho, existe la posibilidad de que los usuarios utilicen diferentes navegadores, lo cual agrega un reto más para el diseño de la interacción con aplicaciones web. Aunque se ha tratado de uniformar la funcionalidad y organización de los navegadores, las diferencias entre los navegadores debe ser un aspecto del que no debe olvidarse al analizar la navegación web.

Los modelos cognitivos computacionales que siguen las ideas de la teoría del rastreo de la información, se enfocan en predecir el comportamiento del usuario cuando sus decisiones de navegación se basan en la información que proporcionan los textos de los vínculos que relacionan una página con otra. Un ejemplo de esta situación se presenta cuando las personas utilizan un buscador para tratar de encontrar la información que necesitan: los usuarios identifican el área donde deben indicar el tipo de información que necesitan y comienzan su búsqueda (figura 5.1), la página con los resultados del buscador mostrará que hay cientos de documentos de posible interés (figura 5.2) y es aquí donde el rastro de la



Figura 5.1: Página de inicio del buscador Google

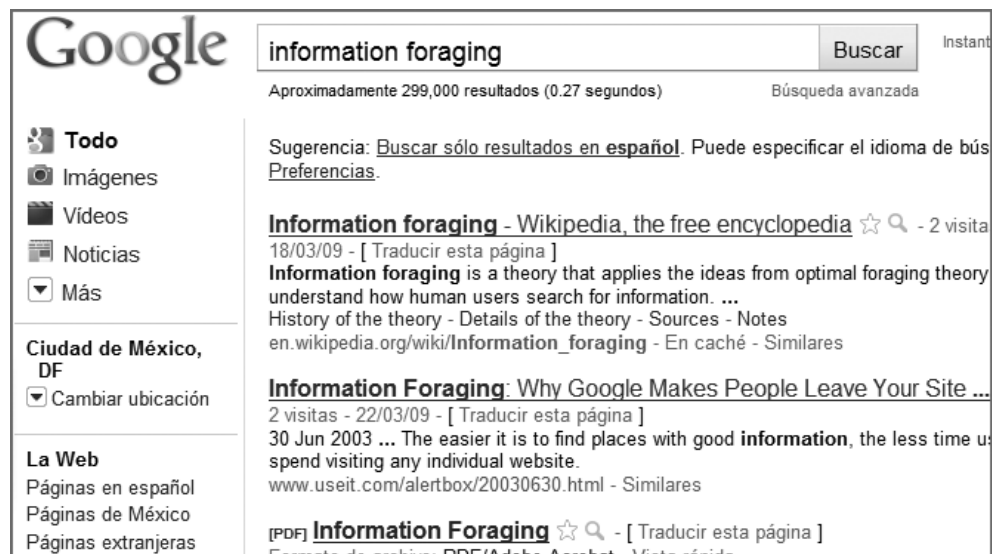


Figura 5.2: Página de resultados del buscador Google

información es una herramienta valiosa para que las personas puedan discernir entre los resultados presentados. Entre mayor relevancia logren comunicar los textos de las ligas, mayor rastro de la información tendrá, pero la comprensión de su relevancia puede variar de persona a persona.

Kitajima et al. [44] señalan el impacto que pueden tener las diferencias en comprensión, habilidad y atención de las personas, en su habilidad para entender la información que encuentran en la web. Sus investigaciones también indican que las personas sólo usan la información que pueden entender, ya que la información es inútil para una persona hasta que puede comprenderla.

Para representar las diferentes características de los usuarios al momento de analizar los textos de las ligas, se ha propuesto individualizar las redes de propagación que se usan para modelar a los usuarios y así manejar las diferencias en conocimiento de cada uno.

Cuando los objetivos del usuario están orientados a la búsqueda de información en la web, para el análisis de la navegación web es suficiente considerar la información que comunican las ligas que conforman el sitio web en relación con la tarea del usuario.

Existen otro tipo de actividades en la web en donde los usuarios deben interactuar de manera recurrente con la misma interfaz y los mismos artefactos interactivos para poder alcanzar sus objetivos:

- El caso de los sistemas bancarios a través de la web es un ejemplo en donde la comprensión de la interfaz es fundamental para que el usuario se sientan confortable y seguro al realizar sus actividades, favoreciendo con esto que el usuario desee continuar utilizando el sistema. En este caso las respuestas del sistema deben ser fácilmente interpretadas por el usuario, por ejemplo, debe estar seguro que un pago solicitado a través del sistema fue realizado en la realidad; los pasos para realizar cada una de sus actividades también deberían ser muy claros.
- Las plataformas de educación a distancia también son un ejemplo de una interacción sencilla y recurrente. En estas aplicaciones el usuario utiliza el sistema de forma continua para realizar sus actividades (revisión de materiales, envío de tareas, participación en discusiones).

En este tipo de escenarios es fundamental que el usuario entienda la propuesta del diseñador para poder alcanzar sus objetivos, adicionalmente la interacción constante le permitirá modificar sus estrategias para realizar sus tareas. De acuerdo con la ingeniería semiótica, conforme el usuario interactúa con el sistema, va descubriendo e interpretando esta propuesta. Por lo tanto, las propiedades y comportamiento de los signos de la interfaz permitirán al usuario entender qué hace el sistema y cómo usarlo para lograr sus metas.

De la misma forma que cada persona puede comprender de manera distinta los textos de una liga, la comprensión de la interfaz no puede ser la misma para todos los usuarios; cada usuario construirá su propio entendimiento a partir de su experiencia previa y de la manera en que vaya descubriendo las características del sistema.

Como se dijo en el capítulo 4, la interacción con la interfaz de usuario es un reflejo de la comprensión del mensaje del diseñador. Esta metáfora de la comunicación del mensaje del diseñador a través de la interfaz puede ser utilizada para caracterizar el entendimiento del usuario sobre la interfaz web.

Un usuario frecuente de la web reconoce que cuando señala con el cursor un elemento de la interfaz y se produce un cambio en el tipo de cursor, este cambio significa que el elemento que está señalando es un objeto interactivo. Cuando el usuario reconoce este cambio, su comprensión de ese artefacto interactivo cambia y por lo tanto, también la de la interfaz completa. El usuario habrá entendido que el diseñador puso ese objeto para realizar alguna actividad. De esta forma, el entendimiento general de la interfaz de usuario se deriva de la comprensión de los artefactos interactivos que la componen.

De acuerdo con esto, conforme el usuario va interactuando y descubriendo los objetos



interactivos de la interfaz, contará con más elementos para tomar sus decisiones durante la navegación, por lo que la comprensión de los artefactos de la interfaz tiene un fuerte impacto en las elecciones del usuario para alcanzar sus objetivos.

En el capítulo anterior también se estableció que la comprensión de la interfaz es gradual, lo mismo pasa con los objetos interactivos que la componen. Así que la comprensión de los artefactos se puede ir modificando conforme se interactúa con ellos. Cuando un usuario señala un objeto de la interfaz y nota un cambio en el cursor, reconoce que ese objeto es capaz de responder a una interacción suya; cuando elija interactuar con él recibirá una respuesta del sistema que reforzará o cambiará su entendimiento sobre ese objeto.

De esta forma, el comportamiento del usuario puede verse como una respuesta al mensaje que el diseñador le presenta en la forma de la interfaz, y el análisis de su interacción con la interfaz puede aportar evidencias de su entendimiento de la interfaz web.

## **5.2. Modelo cognitivo computacional de la navegación web basado en evidencias del entendimiento del usuario**

Teniendo en mente las observaciones de la sección anterior, este trabajo de tesis se fundamenta en la creencia de que una persona será tan capaz de realizar su tarea con un sistema de cómputo interactivo, como sea capaz de entender la propuesta del diseñador para realizar la actividad correspondiente mediante la interfaz de usuario.

Esta propuesta del diseñador de la interfaz debe apoyar al usuario para alcanzar sus objetivos a través de la comunicación de los diversos objetivos que el sistema le permite alcanzar, los métodos que puede usar para ello, los signos de la interfaz que puede usar para propiciar que el sistema realice los pasos del método de interacción que ha elegido y los signos que conforman la respuesta a su interacción.

Retomando la metáfora de una conversación entre el diseñador y el usuario, para que esta comunicación se pueda llevar a cabo se requiere que ambos entiendan el mismo lenguaje, en este caso los signos interactivos de la interfaz. Una vez establecido este lenguaje el diseñador podrá comunicar su mensaje (visión acerca de la tarea del usuario) y, mediante un proceso cíclico, explicarle los conceptos que el usuario debe manejar para poder alcanzar sus objetivos de acuerdo a la propuesta del diseñador.

Este planteamiento complementa la propuesta de la teoría del rastreo de la información, ya que en ella se indica que las decisiones del usuario durante la navegación estarán guiadas por su percepción de proximidad a su objetivo y, de acuerdo con la discusión anterior, esto dependerá de la comprensión actual del mensaje de la interfaz. De esta forma, determinar el entendimiento de cada usuario podría ayudarnos a entender sus decisiones durante la navegación.

Apoyándonos nuevamente en la ingeniería semiótica, el reflejo del entendimiento del usuario puede observarse en la interacción misma, la cual, para el caso de las aplicaciones

web, puede analizarse utilizando la propuesta de la minería de uso de la web. La minería del uso de la web, como se explica ms adelante, se enfoca en analizar las bitácoras de uso de la web para identificar patrones en en las peticiones y uso de los servicios por parte del usuario. Por lo tanto, este trabajo toma como hipótesis principal que a partir del análisis de la interacción con los objetos interactivos (ligas, botones, menús y demás elementos interactivos) de una interfaz de usuario, es posible encontrar evidencias del entendimiento general de la interfaz (qué tareas se pueden resolver y cómo hacerlo).

Estas evidencias del entendimiento de la interfaz por parte del usuario nos permiten hacer inferencias sobre el conocimiento del usuario acerca de la interfaz, como se indica en las siguientes secciones esta informacin es modelada a través de una red bayesiana. De esta manera, la observación de la interacción será la base para construir un modelo cognitivo computacional del entendimiento de la interfaz web por parte del usuario.

Así, nuestro modelo permite analizar cómo el usuario utiliza su entendimiento de una interfaz web para tomar sus decisiones durante la navegación.

En las secciones siguientes describiremos los elementos que conforman nuestra propuesta: cómo se representa dentro del modelo la interfaz del sistema (la representación de la propuesta del diseñador), cómo obtener evidencias del entendimiento del usuario a partir de la interacción con la interfaz (seguimiento y análisis del uso de la interfaz), cómo se modela el comportamiento y entendimiento del usuario (modelo del usuario) y finalmente cómo este conocimiento puede ser usado para inferir las decisiones del usuario en nuevas sesiones de interacción con el sistema (modelo de toma de decisiones).

### 5.2.1. Descripción general del modelo

De forma general podemos decir que nuestra propuesta consiste en construir una representación computacional del entendimiento de la interfaz para un usuario en específico, a partir de las evidencias que aporte la observación de la interacción de ese usuario con la interfaz. Esta observación nos permitirá analizar cómo este entendimiento afectará las decisiones de navegación de ese usuario.

La representación del entendimiento de la interfaz se construye con respecto a una representación concreta del mensaje del diseñador, esta representación especifica los artefactos interactivos que componen la interfaz, su organización y la forma en que deben ser utilizados para realizar las actividades del usuario.

La búsqueda de evidencias del entendimiento se basa en el análisis del uso de los artefactos que conforman la interfaz (paso 1 de la figura 5.3), a partir de su uso haremos inferencias sobre el entendimiento de ese artefacto y de la interfaz en general. Este procedimiento de búsqueda de evidencia captura la idea planteada por el análisis semiótico de que la comprensión de la interfaz es un proceso gradual (paso 2 y 3 de la figura 5.3).

Finalmente se utiliza este conocimiento bajo el marco de la teoría de rastreo de la información para la toma de decisiones durante la navegación web. Se recupera la representación del entendimiento para el usuario actual (paso 1 y 2 de la figura 5.4), se

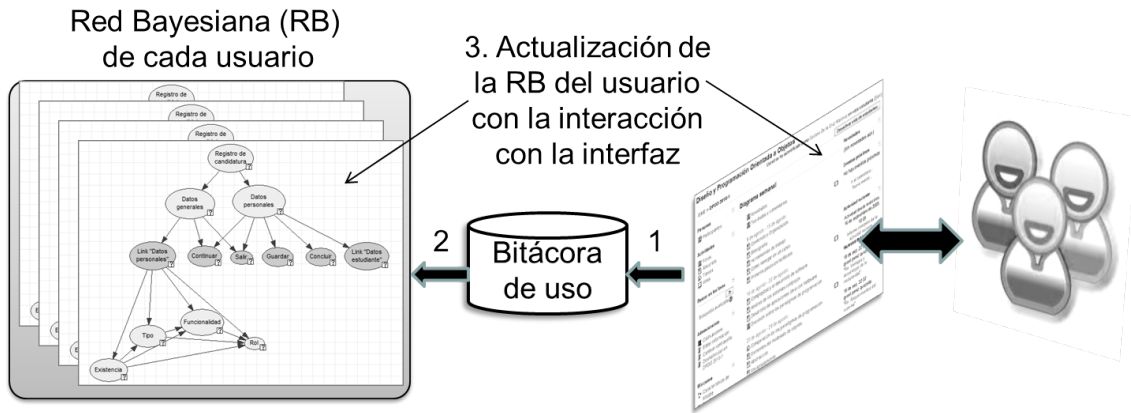


Figura 5.3: Seguimiento y análisis del comportamiento del usuario

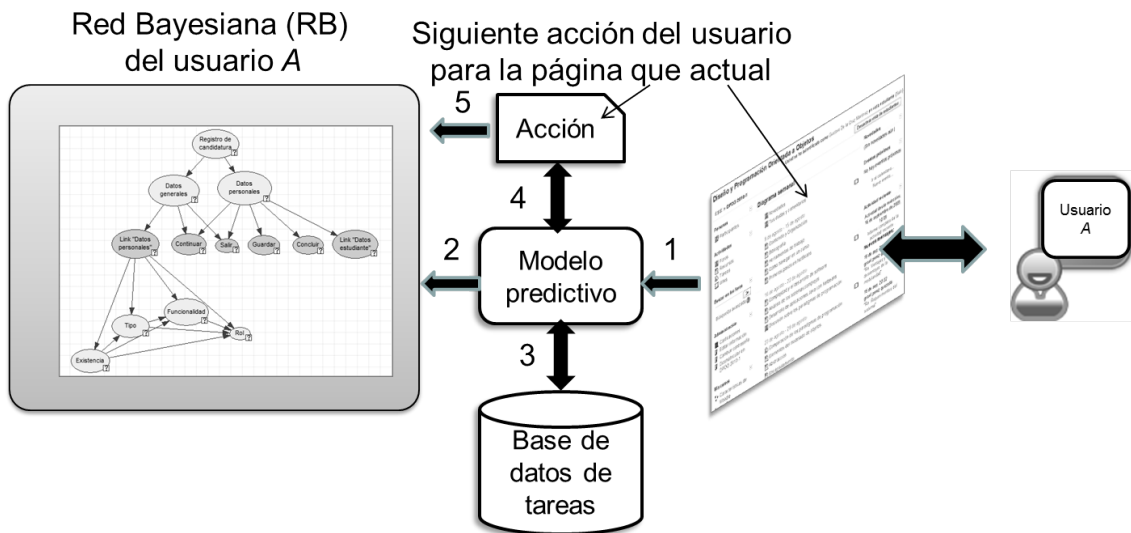


Figura 5.4: Toma de decisiones basada en la actividad del usuario

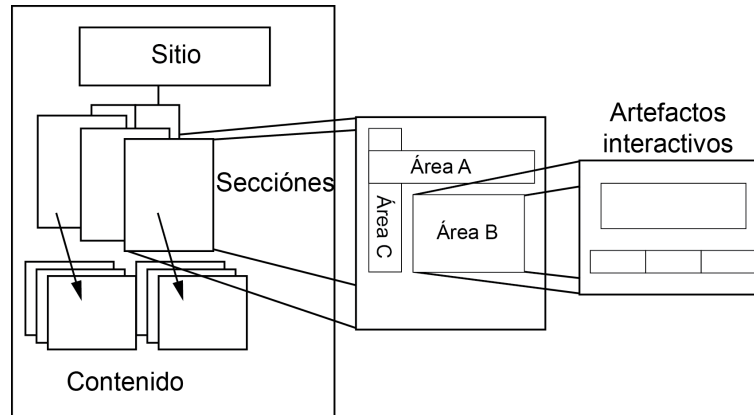


Figura 5.5: Estructura de la información

identifica la tarea que el usuario quiere realizar y se predice una acción de acuerdo a su comportamiento anterior (paso 3 y 4 de la figura 5.4), finalmente la acción del usuario actualiza la representación del entendimiento del usuario (paso 5 de la figura 5.4).

### 5.2.2. La visión del diseñador de la actividad del usuario

Aunque tradicionalmente la navegación web está vinculada con la realización de actividades poco estructuradas, como es la búsqueda de información en la red [75] [44], los sitios web se construyen bajo una estructura de información bien definida. De acuerdo al punto de vista de la ingeniería semiótica [84] y de la usabilidad [66], si esta estructura logra ser entendida por el usuario, habrá una mayor probabilidad de que éste sea capaz de alcanzar sus objetivos mediante el uso de la interfaz web. Por lo tanto, en nuestro planteamiento, la propuesta de un sitio web que debe ser entendida será la estructura de información planteada por el diseñador. Así que usaremos esta estructura como punto de referencia para determinar si el usuario ha entendido o no la interfaz de un sitio web. En esta sección se describe cómo se representa la visión del diseñador en nuestro modelo.

Uno de los principios básicos del diseño de interfaces de usuario nos indica que el diseñador de una interfaz debe analizar y comprender la tarea del usuario. Una forma de estructurar este conocimiento es a través de una organización jerárquica de los objetos que utiliza el usuario en el mundo real para realizar sus intenciones y las acciones que realiza sobre dichos objetos, como lo plantea el modelo Interfaz Objeto-Acción (OAI) [66], revisado en el capítulo 2. Estos objetos y acciones de la tarea tratan de ser representados metafóricamente dentro de la interfaz mediante sus correspondientes objetos y acciones de interfaz. En este nivel de abstracción el diseñador elige las acciones necesarias para que el usuario realice su tarea.

Por lo tanto, consideramos que el punto de vista del diseñador puede ser representado a partir de dos elementos: la estructura de información de la aplicación web (figura 5.5) y la descomposición jerárquica de la tarea a realizar (figura 5.6). En este trabajo los objetos

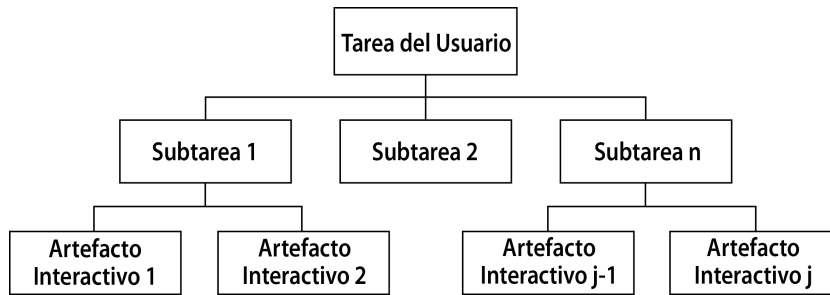


Figura 5.6: Descomposición de la tarea

de interfaz serán denominados artefactos interactivos de la interfaz.

A continuación se describe con mayor detalle cómo se modela en este trabajo la estructura de la información de una aplicación web y las tareas del usuario.

### Diseño de la estructura de la información

Una de las estrategias que siguen las personas para tratar con problemas grandes y complejos es descomponerlos en varios problemas más pequeños, de una manera jerárquica, hasta donde cada subproblema sea manejable. Esta descomposición es aplicable a muchos objetos del mundo real y esto facilita su abstracción dentro de los sistemas de cómputo. De igual forma, las actividades del usuario pueden descomponerse en acciones más pequeñas.

Ya que las personas construyen su propia jerarquía de objetos y acciones de tarea a partir de su experiencia, es importante que el diseñador considere este conocimiento previo para el diseño de la jerarquía de la información y las representaciones de la interfaz.

Normalmente en las interfaces es posible observar estas jerarquías de objetos y acciones. Shneiderman y Plaisant describen como los usuarios reconocen estas jerarquías y las utilizan para entender los conceptos de la interfaz: “Un conjunto fundamental de conceptos de objetos de interfaz se relaciona con el almacenamiento. Los usuarios llegan a comprender que las computadoras almacenan información y la noción sobre información puede refinarse en objetos, tales como un directorio y los archivos de información que contiene. Sucesivamente, el objeto directorio se refina en un conjunto de propiedades de los directorios, como un nombre, tamaño, fecha de creación, propietario, parámetros de control de acceso, etc. Igualmente, cada archivo es un objeto que tiene una estructura de bajo nivel, consistente en líneas, campos, caracteres, fuentes, punteros, etc.” [82, pag. 110]

Para el diseño de la estructura de la información de los sitios web generalmente se utilizan los mapas de navegación. Tradicionalmente, un mapa de navegación de un sitio web, o mapa del sitio, es una página web que contiene y organiza las páginas de un sitio web, indicando las principales ligas entre las páginas. Su objetivo principal es ayudar a los usuarios a encontrar la información que buscan.

En la actualidad se ha propuesto la descripción de un mapa del sitio en XML. Un

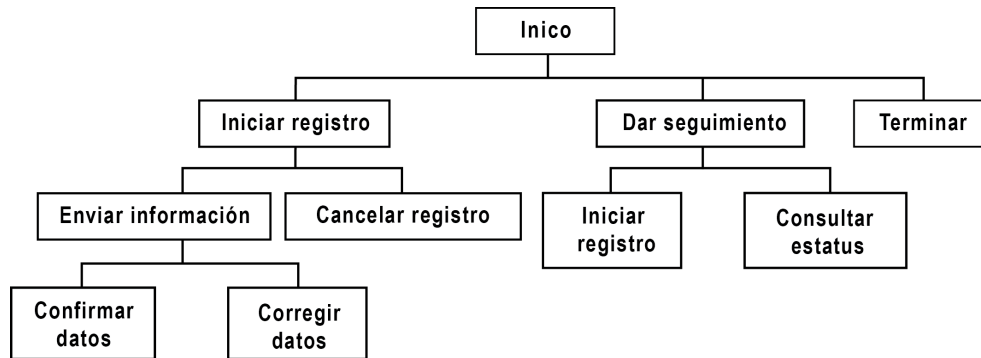


Figura 5.7: Representación gráfica del sitemap de un sitio web

mapa del sitio en XML, que suele denominarse *sitemap*, permite proporcionar información sobre un sitio web a otros servicios web. Un sitemap incluye una lista de páginas de un sitio web, también se puede indicar información como la frecuencia con la que se modifican las páginas del sitio, la fecha de última modificación de cada página, la importancia con respecto al resto del contenido del sitio. El uso de un sitemap posibilita que las herramientas que hagan uso de su información accedan a todas las páginas de un sitio, incluidas las URL que podrían no localizarse mediante la exploración tradicional de vínculos.

Los sitemaps son especialmente útiles si:

- Un sitio incluye contenido dinámico.
- Un sitio contiene páginas que no se puedan localizar fácilmente durante el proceso de rastreo como, por ejemplo, las páginas que presenten AJAX o Flash enriquecido.
- Un sitio dispone de ciertas páginas que no están enlazadas directamente con el resto o que sencillamente no están enlazadas.

En el contexto de este trabajo un sitemap es útil porque nos permite describir conceptualmente la estructura de la información del sitio. De esta manera, consideraremos que un sitio web está compuesto de secciones, el contenido de cada sección está organizado en áreas que pueden tener subáreas y como los elementos de más bajo nivel tenemos a los artefactos interactivos de acuerdo al esquema de la figura 3. Las secciones están asociadas con las posibles actividades que se pueden realizar dentro del sitio web. Las áreas y subáreas representan la agrupación de conceptos de la interfaz que plantea el diseñador.

En el sitemap describimos las relaciones jerárquicas de las posibles actividades que el usuario puede realizar dentro de una aplicación web (figura 5.7).

Para la construcción de los sitemap que representan la estructura de la información que usa nuestra propuesta utilizamos el esquema definido por sitemaps.org. De acuerdo con la definición de este protocolo, para ampliarlo se debe realizar una extensión a través de un nuevo espacio de nombres. Utilizamos el espacio de nombres struct para describir

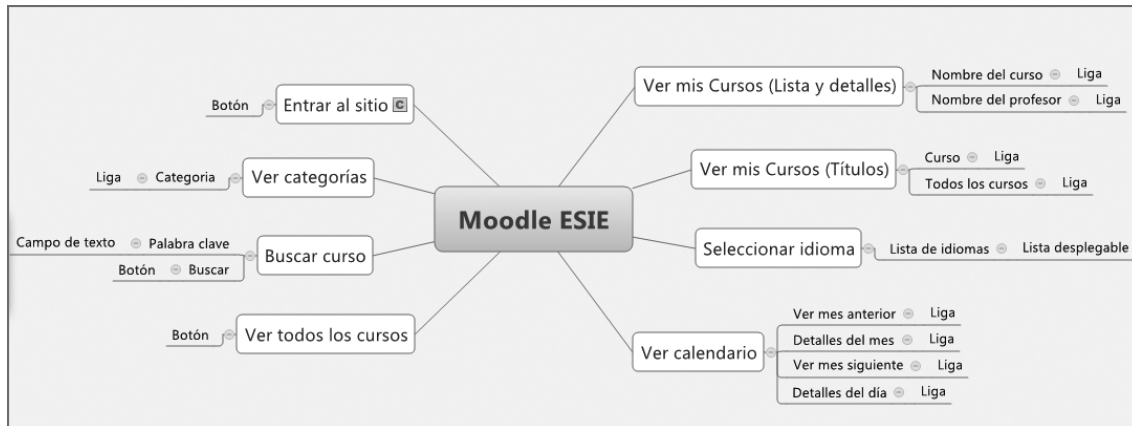


Figura 5.8: Secciones del gestor de cursos moodle

la estructura de la información de nuestro sitio. A continuación se muestra un ejemplo de un sitemap que indica la organización de la estructura de la información:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<urlset xmlns="http://www.sitemaps.org/schemas/sitemap/0.9"
  xmlns="http://ihm.ccadet.unam.mx/schemas/sitemap-struct/0.5"
  <url>
  <loc>http://ihm.ccadet.unam.mx/moodle/index.php</loc>
  <struct:section>
    <struct:name>Ingresar</name:struct>
    <struct:artifact>
      <struct:name>Entrar</name:struct>
      <struct:type>link</type:struct>
    </artifact:struct>
  </struct:section>
</url>
</urlset>
```

Para el caso del sistema gestor de cursos moodle se identificaron 8 secciones a partir de la página principal. La figura 5.8 muestra una representación gráfica de estas secciones junto con los artefactos interactivos que se utilizan para acceder a ellas.

La figura 5.9 presenta un fragmento de la representación gráfica de las actividades asociadas con la actividad Entrar al sitio, a este nivel se separan las áreas de las distintas tareas y se especifican los artefactos interactivos que la componen.

Esta representación de la información también permite la descripción de los objetivos que se pueden alcanzar con el sistema y cómo se puede descomponer este objetivo en otros más simples, al final de la jerarquía se encuentran los objetos atómicos que se pueden alcanzar con un artefacto interactivo. Por ejemplo considerando la actividad de la figura



Figura 5.9: Actividades y artefactos para la actividad Entrar al sitio

5.9, el objetivo de “Entrar al sitio” puede ser alcanzado ingresando a él, para ingresar al sitio se puede entrar como usuario registrado o como invitado, para “Entrar como invitado” se debe elegir el botón “Entrar como invitado”

### Diseño jerárquico de la tarea del usuario

Siguiendo el modelo OAI, las acciones de interfaz también se pueden descomponer en acciones de bajo nivel. Las actividades de alto nivel, tales como resolver un examen en una plataforma de educación a distancia o enviar una solicitud de beca a través de una página web, pueden requerir acciones de selección, llenado de campos y guardar la información. Una acción de nivel medio de guardar la información se divide en acciones de seleccionar un destino, proporcionar un nombre, sobrescribir versiones previas, etc. Al final, los usuarios llevan a cabo cada acción de bajo nivel a través de los artefactos interactivos como un botón de enviar o haciendo clic en un elemento de un menú.

A decir de Shneiderman y Plaisant, cuando los objetos y acciones de interfaz tienen una estructura que puede ser ligada a objetos y acciones familiares, se espera que la estructura sea relativamente estable en la memoria humana. Si los usuarios recuerdan los conceptos de nivel medio sobre guardar un archivo también serán capaces de llegar a la conclusión de que un archivo debe tener un nombre, un tamaño y un lugar donde almacenarlo. La conexión con otros objetos y la presentación visual puede favorecer la capacidad para manejar este conocimiento.

El modelo OAI sugiere que en la etapa de análisis de la tarea del usuario deben hacer explícitos los objetos de tarea y presentar claramente las acciones de tarea, luego, pueden identificarse los objetos y acciones de interfaz y crearse representaciones apropiadas para cada una de ellas. Se espera que siguiendo este análisis, los diseños favorezcan la comprensión



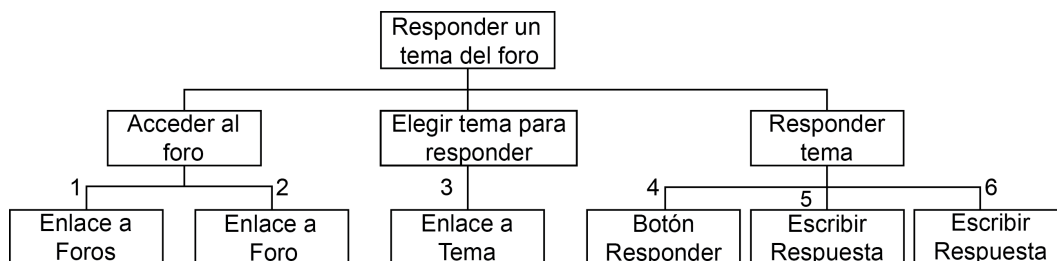


Figura 5.10: Jerarquía de acciones para la tarea del usuario

de los usuarios.

Nuestro modelo asume que el diseñador tomó este tipo de consideraciones para el diseño de la interfaz de usuario de las aplicaciones web que analizamos. Por lo tanto, el modelo parte de una representación de la tarea como una serie de pasos que el diseñador sugiere como la solución óptima (figura 5.10).

La representación de la tarea especifica los pasos o subtareas necesarios para completar la tarea principal. Para cada sub-tarea se especifican las subtareas correspondientes o bien los artefactos interactivos que deben utilizarse para realizarla.

En el capítulo 7 se muestran ejemplos concretos de la representación de la visión del diseñador, el sitemap y la representación jerárquica de las tareas.

### 5.2.3. Evidencias del entendimiento del usuario

Bajo la metáfora de la comunicación usuario-diseñador, la comprensión de los signos o artefactos interactivos de la interfaz (botones, imágenes, menús, etc.) será parte fundamental para la comunicación de los objetivos de la interfaz en su totalidad.

Tradicionalmente se asume que la interacción con un artefacto interactivo implica que el usuario entiende completamente el significado de ese artefacto, pero como lo hemos indicado, la comprensión es paulatina, va desde el reconocimiento del objeto hasta la comprensión de su papel dentro de la tarea del usuario.

Teniendo en mente esta idea, el diseñador elige la representación más adecuada que relacione el objetivo del usuario y el artefacto interactivo. Para lograr comunicar esta relación, el diseñador elige el comportamiento del artefacto interactivo que pueda propiciar que el usuario alcance el entendimiento del objetivo de cada artefacto interactivo.

De acuerdo con lo que se discutió al inicio de este capítulo, observando la interacción del usuario con los artefactos interactivos podemos identificar patrones de uso, que interpretaremos como evidencias del entendimiento de un artefacto interactivo.

En esta sección se discute cómo un modelo estadístico para la detección de patrones nos permite representar la esencia de este proceso gradual de entendimiento de la interfaz por parte del usuario.

### Descubrimiento y comprensión de un artefacto interactivo

Si el entendimiento de la interfaz se da de manera gradual, la comprensión del objetivo de un artefacto interactivo también será gradual y la observación de la interacción con cada artefacto nos permitirá identificar evidencias del entendimiento del usuario. Cada diseñador podría especificar los pasos que considera necesarios para entender el objetivo de un artefacto, para esta versión de nuestro modelo proponemos que el objetivo principal de cada artefacto puede ser dividido en cuatro subobjetivos:

1. Comunicar existencia. Para que el usuario sea capaz de utilizar un artefacto interactivo primero deberá reconocer que existe. Para propiciar la identificación de un artefacto, el diseñador utiliza ciertos patrones para diseñar cada artefacto interactivo, por ejemplo, la apariencia de una liga, la forma de un botón, el cambio del tipo de cursor al señalar una imagen que está vinculada a una página.
2. Comunicar comportamiento. Una vez que el usuario identifica que existe un artefacto con el cual puede interactuar, debe poder determinar cuáles son las acciones válidas para utilizar el artefacto interactivo: un botón responderá a un clic pero no puede ser arrastrado a otra área de la interfaz.
3. Comunicar funcionamiento. Ya que el usuario sabe cómo interactuar con un artefacto, debe entender cuál es el significado de la respuesta de la IU a su interacción.
4. Comunicar objetivo. Como actividad final se espera que el usuario sepa cuándo utilizar un artefacto interactivo para alcanzar sus objetivos.

En nuestra propuesta el entendimiento del usuario de un artefacto interactivo estará relacionado con la comunicación de cada uno de los puntos anteriores, por lo tanto, nuestro análisis de la interacción del usuario se enfoca en buscar evidencias de que se han alcanzado cada uno de estos objetivos del diseñador de la interfaz.

Para cada uno de los objetivos del diseñador asociamos una etapa de descubrimiento como parte del entendimiento del artefacto:

1. Descubrimiento del artefacto (Existencia).
2. Descubrimiento del tipo.
3. Descubrimiento de la funcionalidad.
4. Descubrimiento del rol del artefacto dentro de la tarea del usuario.

Si bien no se puede predecir exactamente cuando son alcanzadas cada una de las etapas de descubrimiento de un artefacto, los modelos estadísticos pueden manejar de forma adecuada las diversas posibilidades asociadas a este proceso de descubrimiento. De manera específica, para este trabajo seleccionamos un modelo bayesiano para representar

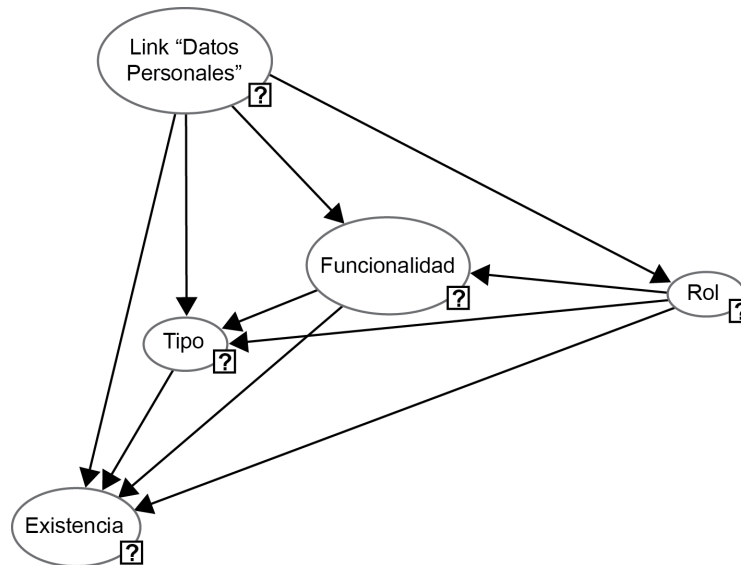


Figura 5.11: Red bayesiana que relaciona las etapas de descubrimiento con el entendimiento de un artefacto interactivo

las relaciones entre cada una de estas etapas de descubrimiento con el entendimiento de un artefacto interactivo (figura 5.11) ya que son modelos que han demostrado ser adecuados para la representación de conocimiento con incertidumbre.

En las siguientes secciones se ilustra por qué el entendimiento de una interfaz es un proceso que puede ser modelado con la ayuda de un método bayesiano, construido a partir de la información obtenida de la observación de la interacción con la interfaz.

### Manejo de la incertidumbre del entendimiento del usuario con métodos bayesianos

La teoría de la probabilidad y los métodos bayesianos son una de las técnicas que más se han utilizado en problemas de aprendizaje automático y minería de datos. Se han observado dos razones por la que los métodos bayesianos son relevantes al aprendizaje automático y a la minería de datos [59]:

- Son un método práctico para realizar inferencias a partir de los datos, induciendo modelos probabilísticos que después serán usados para razonar (formular hipótesis) sobre nuevos valores observados. Además, permiten calcular de forma explícita la probabilidad asociada a cada una de las hipótesis posibles.
- Facilitan un marco de trabajo útil para la comprensión y análisis de numerosas técnicas de aprendizaje y minería de datos que no trabajan explícitamente con probabilidades.

Para ejemplificar las cualidades de los modelos bayesianos para el manejo de conocimiento con incertidumbre analizaremos una situación hipotética de la actividad de un usuario:

Juan toma un curso de inteligencia artificial a través de una plataforma de educación a distancia.

El material del curso está organizado por semanas y actualmente es la tercera semana del curso.

La página de inicio del curso muestra diferentes secciones:

- Participantes
- Actividades
- Herramienta de búsqueda
- Mis cursos
- Contenido del curso
- Novedades
- Eventos próximos
- Actividad reciente

En el curso se publicaron dos actividades del tipo tarea,  $Tarea_A$  y  $Tarea_B$ , para las cuales se indican una serie de preguntas que los estudiantes deben responder y enviar sus respuestas a través de la plataforma. Para cada una de estas actividades hay una fecha límite de envío luego de la cual ya no es posible enviar las respuestas. La  $Tarea_A$  aparece en la semana 3 y la  $Tarea_B$  en la 4. La fecha límite para la  $Tarea_A$  fue ayer.

Juan no envió su tarea ya que no conocía que la tarea tenía una fecha límite de envío.

Juan entrará a la plataforma y se dispone a buscar la siguiente tarea que debe realizar.

¿Cuál será la tarea que revise y resuelva Juan?

La plataforma ofrece tres posibilidades para acceder a la tarea que Juan debe resolver. La figura 5.12 muestra las tres áreas en donde se puede encontrar el acceso a la tarea del usuario. El área 1 contiene el acceso a todas las actividades del tipo tarea, el área 2 contiene la liga a las actividades de cada semana y el área 3 indica sólo las actividades que tienen una fecha límite y aún están vigentes.

De acuerdo con el diseñador, el área 3 debe ser la más apropiada para que Juan encuentre la actividad que debe resolver. Pero si Juan aún no ha entendido que las tareas tienen una fecha límite y que el área 3 le indica las fechas y tareas más próximas, probablemente Juan no preste atención a esa área.

Un modelo que sea capaz de representar la incertidumbre del conocimiento de Juan acerca de la interfaz podría indicar que a partir del comportamiento previo de Juan en la

**Inteligencia Artificial** Usted se ha autenticado como Gustavo De la Cruz Martínez en vista estudiante (Salir)

ESIE >> IA 2010-2 Desactivar vista de estudiantes

**Personas**

Participantes

**Actividades**

Foros **1**  
Recursos  
Tareas

**Buscar en los foros**

>  
Búsqueda avanzada ?

**Administración**

Calificaciones  
Editar información  
Cambiar contraseña  
Desmatricular en IA 2010-2

**Mis cursos**

Características de Moodle  
Diseño de interfaces 2012-2

**Diagrama semanal**

Novedades  
Presentación y contenido  
Bibliografía y otros recursos

1 de febrero - 7 de febrero

**Panorama general sobre la inteligencia artificial**  
Discusión general sobre inteligencia artificial  
Inteligencia Artificial - Un enfoque moderno (Introducción)

8 de febrero - 14 de febrero

**Agentes inteligentes** **2**  
Inteligencia Artificial - Un enfoque moderno (Agentes Inteligentes)

15 de febrero - 21 de febrero

**Solución de problemas mediante búsqueda**  
Solución de problemas mediante búsqueda  
Examen 1  
Definiendo un problema como un espacio de estados

**Novedades**

14 de abr, 14:47  
Veronica Abad  
Laboratorio más...  
Temas antiguos ...

**Eventos próximos**

No hay eventos próximos **3**  
Ir al calendario...  
Nuevo evento...

**Actividad reciente**

Actividad desde lunes, 26 de marzo de 2012, 23:21  
Informe completo de la actividad reciente...  
Sin novedades desde el último acceso

Figura 5.12: Opciones para la tarea del usuario

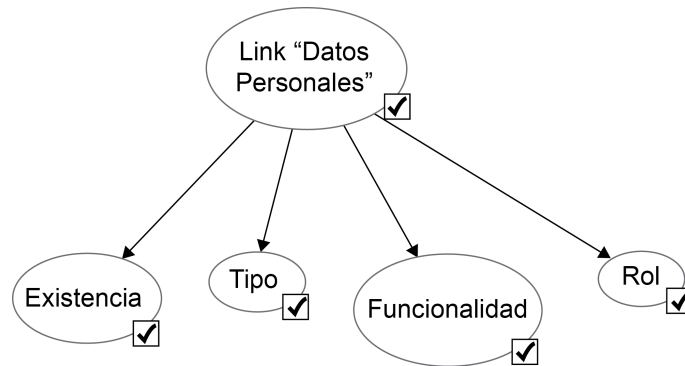


Figura 5.13: Ejemplo de una RB que representa el entendimiento de un artefacto interactivo. Cada etapa es independiente entre sí.

plataforma (la evidencia actual), el área 1 tiene una probabilidad de 10 % de ser elegida y 90 % de no ser elegida, para el área 2 una probabilidad de 55 % de ser elegida y 45 % de no ser elegida, y el área 3 una probabilidad de 5 % de ser atendida y 95 % de ser ignorada.

Este tipo de información nos permite entender por qué razón Juan probablemente elija el área 2 y revise primero la tarea que ya no es válida, pues esa es el área que usa con mayor frecuencia y encontrará la  $Tarea_A$  en la semana actual.

Para representar el entendimiento del usuario utilizaremos las redes bayesianas. Las redes bayesianas (RB) representan el conocimiento mediante un grafo dirigido acíclico. Este conocimiento se expresa mediante el establecimiento de relaciones de independencia/dependencia entre las variables que componen el modelo. “Las redes bayesianas no sólo modelan de forma cualitativa el conocimiento sino que además expresan de forma numérica la fuerza de las relaciones entre las variables” [34, pag. 263] . La parte cuantitativa del modelo se especifica mediante funciones de distribución de probabilidad que representan una medida de la creencia que tenemos sobre las relaciones entre las variables del modelo.

La figura 5.13 presenta un ejemplo de una RB donde cada una de las etapas de descubrimiento impacta en la posible comprensión del artefacto. De acuerdo con nuestras observaciones anteriores, las respuestas a la interacción del usuario, por ejemplo un cambio en el tipo de cursor, pueden ser interpretadas como evidencias de que se ha alcanzado una etapa de descubrimiento. Cuando se detecte evidencia de que se ha alcanzado una etapa se actualizará el valor de la probabilidad de que un artefacto haya sido entendido.

En el ejemplo anterior cada una de las etapas de descubrimiento es independiente entre sí, pero hemos discutido que las etapas de descubrimiento están relacionadas entre sí, por ejemplo sólo se puede identificar el tipo de un artefacto interactivo que previamente haya sido reconocido (primera etapa de descubrimiento). Por tanto la RB debería incluir las relaciones entre las etapas de descubrimiento. La figura 5.14 ejemplifica una RB que representa el conocimiento del usuario sobre un artefacto interactivo considerando las dependencias entre las etapas de descubrimiento.

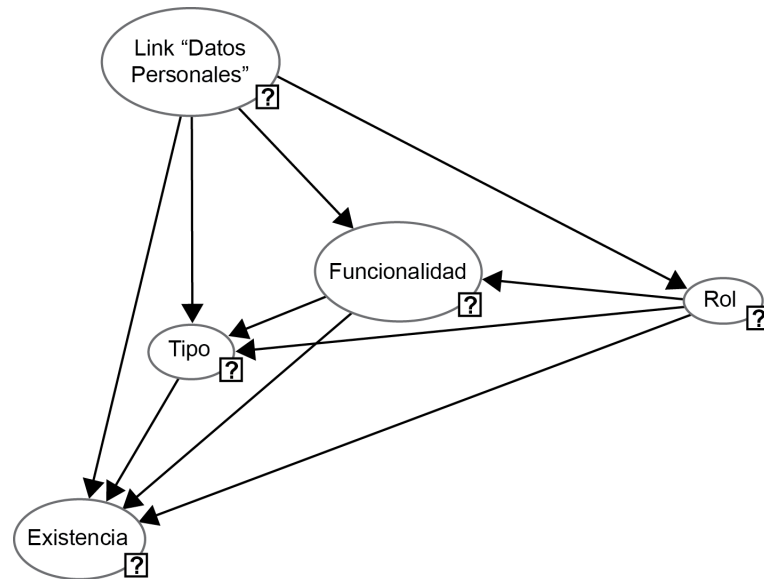


Figura 5.14: Representación del entendimiento de un artefacto interactivo considerando que hay interdependencia entre las etapas de descubrimiento

Uno de los problemas más importantes relacionados con las RB es su construcción. Una posibilidad para construirla es apoyarnos de un experto en el dominio, quién modela la RB a partir de su conocimiento del problema. Otra posibilidad es generar este conocimiento de forma automática a partir de datos de ejemplos del problema de interés, bajo esta situación, el aprendizaje de una RB puede ser visto en dos etapas: primero el aprendizaje de la estructura de la red y después el aprendizaje de las tablas de probabilidad. En el apéndice B se describe con más detalle el funcionamiento de las redes bayesianas. En nuestro caso, nuestras RB aprenderán de la observación del comportamiento del usuario.

#### 5.2.4. Observación del comportamiento del usuario

Una de las técnicas utilizadas para analizar, descubrir y extraer información de documentos y servicios de la web es la minería de la web (web mining) [45]. De acuerdo a los objetivos al realizar el análisis, la minería de la web se puede dividir en tres tipos diferentes: minería del uso de la web (web usage mining), minería del contenido de la web (web content mining) y minería de la estructura de la web (web structure mining).

La minería del uso de la web utiliza los datos de la navegación del usuario para descubrir patrones y relaciones no explícitas entre las peticiones del usuario, es decir, intentar dar sentido a los datos generados por la información de uso de los recursos por parte del usuario. Los datos de uso de los recursos registran el comportamiento del usuario cuando navega o realiza transacciones en un sitio web. La minería del uso de la web usa como principal fuente de información las bitácoras de acceso al servidor web, los registros

del navegador, perfiles del usuario, sesiones o transacciones del usuario, cookies, solicitudes del usuario, datos de las ligas incluidas en marcadores (favoritos), clics y movimientos del ratón, y cualquier otro dato relacionado con la interacción.

La idea fundamental del análisis de las bitácoras de acceso al servidor web es aprender del comportamiento anterior. Intuitivamente, cuando se aprende de ejemplos, casos o datos conocidos, generalmente lo que se busca es poder tomar una decisión sobre nuevos casos, esto se basa en la idea de que ante una nueva situación se deberá actuar como se hizo en situaciones anteriores parecidas o similares.

En esta sección se describe cómo usamos las bitácoras de uso de un sistema web para construir una representación computacional de la interacción del usuario, la cual nos permite realizar inferencias a través de un análisis estadístico de los datos observados.

### Modelado del comportamiento del usuario

Para la construcción de nuestro modelo, la observación y el análisis del comportamiento del usuario son la base de la representación del entendimiento del usuario. Para este análisis se modela el comportamiento del usuario a partir de las bitácoras de uso de la aplicación web que nos interesa.

Las bitácoras se procesaron para crear una representación apropiada del comportamiento de cada usuario correspondiente a su utilización del sistema.

La representación abstracta del usuario dependerá de la información que queremos observar. En nuestro caso nos interesa estudiar cómo usa los artefactos interactivos y a partir de ello determinar el entendimiento de ese artefacto. Por lo tanto representamos a cada visitante a partir de los siguientes atributos:

- Dirección IP del usuario,
- Artefacto interactivo utilizado,
- Fecha.

De acuerdo con esto, la observación del usuario nos indica cómo fueron usados los artefactos en una sesión de trabajo (tabla 5.1).

Tabla 5.1: Información del usuario

Host del usuario	Artefacto Interactivo	Fecha
189.144.19.X	<i>Artefacto<sub>1</sub></i>	2007-03-11 12:05:25
189.144.19.X	<i>Artefacto<sub>2</sub></i>	2007-03-11 12:05:42
189.144.19.X	<i>Artefacto<sub>3</sub></i>	2007-03-11 12:07:01

La información de la interacción se estructura al rededor de las sesiones, indicándonos cuál fue la secuencia de acciones realizadas por el usuario. Para el caso del usuario cuya



información se muestra en la tabla 5.1, vemos que la secuencia de acciones fueron las siguientes:

$$[Artefacto_1, Artefacto_2, Artefacto_3]$$

En la sección A.1 se presentan con más detalle la representación del comportamiento del usuario.

Con la ayuda de la minería de uso de la web podemos extraer de esta información algunas conclusiones como las siguientes:

- Cuándo un artefacto ya fue utilizado. A partir de una revisión de la información anterior de las actividades del usuario podemos determinar para cada página cuáles artefactos interactivos ya han sido utilizados
- Qué tipo de interacción se realizó con el artefacto. La bitácora de la aplicación nos puede indicar que tipo de acción se realizó con el artefacto. Para los casos de análisis de nuestro modelo solo se consideraron artefactos interactivos que responden a un solo clic.
- Cuál es el comportamiento más común luego de usar un artefacto. Según lo hemos discutido previamente, la ingeniería semiótica [84] señala que al evaluar la comunicabilidad de un sistema se pueden observar algunos patrones de comportamiento que dan indicios de fallas durante la comunicación, cuando un evaluador realiza el análisis este tipo de patrones los observa y etiqueta. Utilizando la minería de uso de la web podemos encontrar patrones que el usuario repite durante su interacción, luego, al analizarlos los podemos etiquetar.
- Con cuáles artefactos resuelve una tarea. Al analizar toda la secuencia de interacción podemos observar con facilidad cuál fue la tarea que el usuario resolvió, así podemos identificar para cada tarea que realice los artefactos interactivos que utiliza de manera recurrente.
- Qué patrones de interacción sigue en cada sesión de trabajo. Como una observación final a la actividad del usuario, podemos identificar cuál es el comportamiento más recurrente cuando el usuario utiliza el sistema.

Dependiendo de los intereses de nuestro análisis podemos aplicar técnicas específicas para responder a los cuestionamientos anteriores.

### 5.2.5. Inferencia del entendimiento del usuario

Una vez estructurada la información de la actividad del usuario, asignamos un significado a todos estos patrones de comportamiento dentro del contexto del entendimiento de la interfaz de usuario. Esta sección explica cómo estos datos se utilizan para construir un modelo bayesiano que, de acuerdo con las argumentaciones anteriores, nos brinda una representación computacional del entendimiento de la interfaz por parte del usuario.

### Inferencia del entendimiento de un artefacto interactivo

En las secciones anteriores se describió el entendimiento de un artefacto interactivo como una variable dependiente de los estados de descubrimiento, eso significa que para poder inferir el entendimiento de un artefacto interactivo se deben poder contestar las siguientes preguntas:

- ¿Cuándo considerar que un objeto fue identificado?
- ¿Cuándo considerar que un objeto es tipificado?
- ¿Cuándo considerar que se conoce el funcionamiento de un objeto?
- ¿Cuándo considerar que se conoce el rol de un objeto?

De acuerdo con nuestra hipótesis, estas preguntas pueden ser respondidas a partir del análisis del comportamiento del usuario:

1. Descubrimiento del artefacto (Existencia). Consideraremos que un artefacto fue identificado cuando el usuario lo haya utilizado al menos una vez.
2. Descubrimiento del tipo. Como estamos considerando sólo artefactos interactivos que responden a un clic y las bitácoras del sistema en este momento sólo indican cuando un artefacto fue usado, consideraremos que el tipo de un artefacto es identificado cuando el artefacto aparece en una secuencia completa de una actividad, pues esto disminuye la probabilidad de que haya sido utilizado sólo por error.
3. Descubrimiento de la funcionalidad. Hemos dicho que cuando un usuario descubre cómo interactuar con un tipo de artefacto interactivo está en posibilidad de aplicar este conocimiento en otro contexto, así la interacción con artefactos similares debiera ser parecida. Utilizando la minería de uso de la web, de manera específica las técnicas de agrupamiento, construimos clústeres para cada tipo de artefacto interactivo específico para un usuario. En el apéndice A se ejemplifica el uso de la técnica del agrupamiento para la detección de interacciones similares con un artefacto interactivo. Siguiendo esa idea, cada clúster agrupa el patrón de comportamiento que sigue dicho usuario al utilizar este tipo de artefactos, cuando este patrón es observado en una sesión consideraremos que se ha identificado la funcionalidad.
4. Descubrimiento del rol del artefacto dentro de la tarea del usuario. Como se mencionó la gran ventaja de observar el comportamiento del usuario una vez que su interacción concluyó es que es posible concluir cuál fue la tarea que realizó y cómo lo hizo. Nuevamente el agrupamiento nos permite analizar este comportamiento para encontrar los patrones de interacción que sigue el usuario para completar una tarea (A.2.2), así al analizar una secuencia de acciones podemos identificar si se parece o no al patrón de comportamiento para la tarea, así al analizar una secuencia de

Sesión	Artefacto	Existencia	Tipo	Funcionalidad	Rol
3	a21	1	1	?	?
4	a21	1	1	?	?
6	a21	1	1	1	?

Tabla 5.2: Fragmento de la información

acciones podemos identificar si se parece o no al patrón de comportamiento para la tarea, en caso de ser así podemos decir que se ha descubierto el papel del artefacto dentro de la tarea.

En la sección A.2 se describe cómo usamos el agrupamiento para identificar los patrones que nos permiten determinar las fases de descubrimiento.

Bajo estos parámetros podemos analizar el comportamiento del usuario luego de algunas sesiones, para interpretar su interacción en términos de etapas de descubrimiento de los artefactos interactivos. La tabla 5.2 muestra un fragmento de esta forma de organizar la información, este análisis se realizó después de 10 sesiones de trabajo con la aplicación. La tabla indica que en la sesión 3 el artefacto a21 fue descubierto y se identificó cómo interactuar con él, en ese momento, aún no se contaba con evidencia suficiente para indicar que se ha comprendido su funcionalidad y su rol dentro de la tarea.

Esta información nos permite entrenar la red bayesiana que asociada al posible entendimiento de un artefacto interactivo. El aprendizaje de los pesos de las relaciones se hará a partir de información obtenida de la observación de la interacción del usuario.

La figura 5.15 muestra la red bayesiana para el artefacto interactivo Última discusión construida con la información de 10 sesiones de trabajo con la aplicación web.

Este modelo bayesiano nos permite actualizar el valor de probabilidad del entendimiento de un artefacto a partir de nuevas evidencias observadas en la interacción actual. La figura 5.16 muestra cómo se actualizan los valores de las creencias de la red bayesiana al observar que el usuario hace un clic sobre el artefacto interactivo.

De esta manera nuestro modelo maneja la incertidumbre del entendimiento de los artefactos interactivos que el usuario va utilizando.

### **Inferencia del entendimiento general de la interfaz**

Como ya lo hemos indicado el entendimiento general de la interfaz se derivará del entendimiento de los artefactos interactivos. Esta situación la describiremos mediante otra red bayesiana que refleja las relaciones entre los artefactos interactivos y la actividad del usuario.

La estructura de la red bayesiana se basa en la estructura de la información descrita previamente, la interacción del usuario con los artefactos interactivos aportará evidencia que será propagada por la red y así obtenemos una inferencia sobre el entendimiento

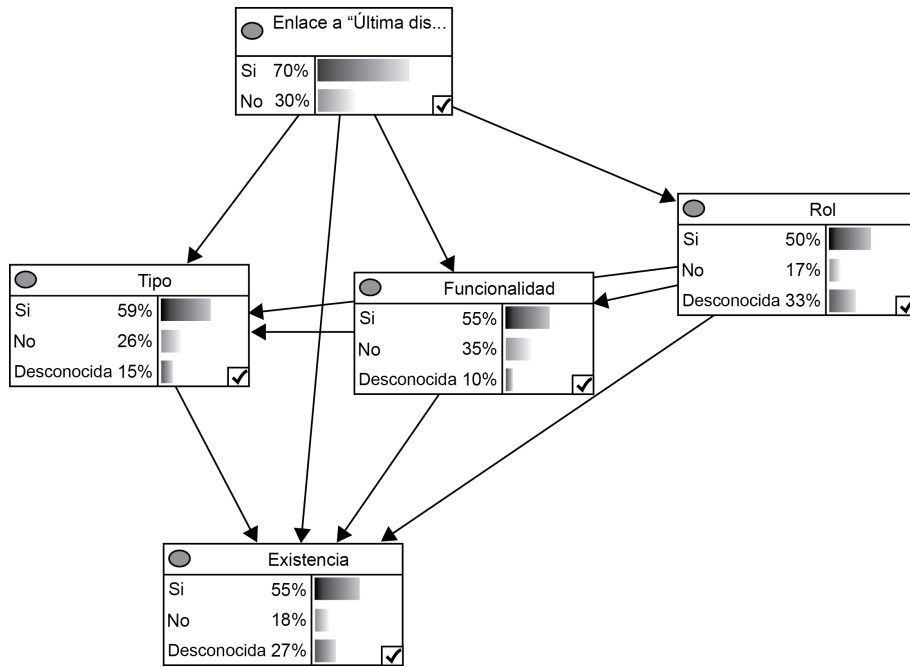


Figura 5.15: Red bayesiana entrenada con la información del comportamiento del usuario

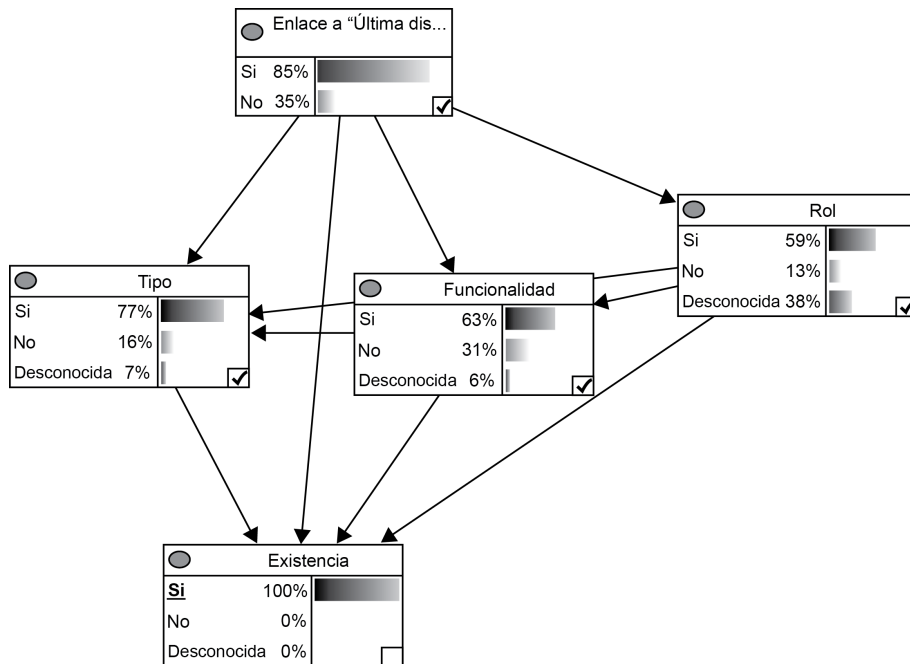


Figura 5.16: Red bayesiana actualizada con la evidencia observada en la interacción del usuario

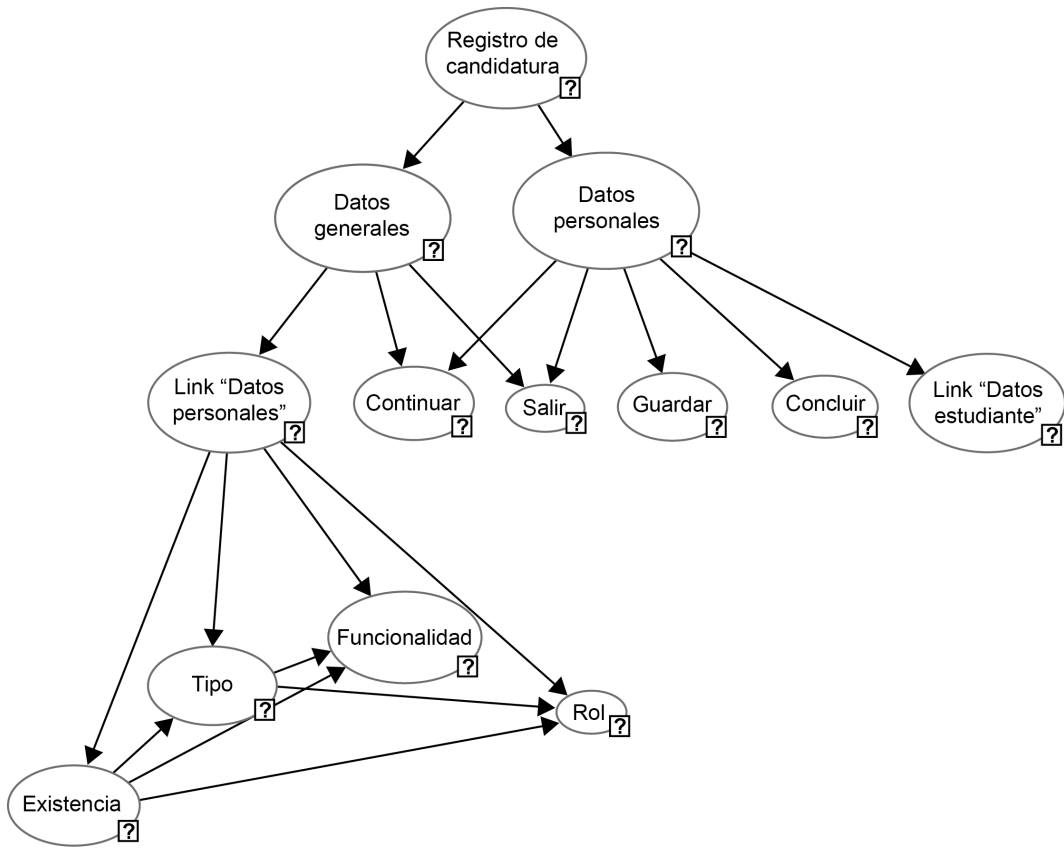


Figura 5.17: Fragmento de la red bayesiana de la comprensión de la actividad del usuario

del usuario de cada sección del sitio web. La figura 5.17 muestra un fragmento de la red bayesiana que ilustra la forma de representar el entendimiento de una actividad del usuario, cuando se produce una evidencia a nivel de los artefactos interactivos, se actualizan los valores de la creencia del entendimiento del artefacto, el área que lo contiene, la sección a la que pertenece dicho artefacto y finalmente la actividad del usuario.

### 5.2.6. Decisiones de navegación del usuario

Una vez construida una estructura computacional del entendimiento del usuario, describimos cómo nuestra propuesta utiliza esta información para simular el proceso de toma de decisiones de un usuario cuando navega en la aplicación web.

Como se mencionó en el capítulo 3, los modelos cognitivo computacionales actuales tienen un comportamiento basado en el análisis racional [8], es decir, los modelos eligen la acción de navegación más efectiva y útil a partir de las pistas percibidas.

Nuestro modelo hace la misma suposición sobre el comportamiento del usuario: cuando el usuario trata de alcanzar sus objetivos, siempre elegirá la acción más efectiva y útil de acuerdo a su entendimiento de la interfaz.

Para poder construir una representación significativa del entendimiento de la interfaz, debemos observar varias sesiones de trabajo del usuario. El número de sesiones dependerá de la naturaleza de la aplicación y de la duración de las sesiones del usuario. Cuando las sesiones del usuario son muy cortas, la información sobre el entendimiento general de la aplicación será muy incompleta; mientras que las sesiones donde el usuario completa tareas específicas aportan mucha información al modelo bayesiano. En el capítulo 7 se detallan las observaciones sobre el impacto del número de sesiones en la construcción del modelo del entendimiento del usuario.

Asumiremos que el usuario tiene un objetivo específico que debe alcanzar a través de la aplicación. Por lo tanto el modelo compara el objetivo del usuario contra los objetivos que le permiten alcanzar cada una de las secciones del sitio web. Esta comparación nos permite identificar las áreas interactivas útiles para la actividad del usuario.

Un paso fundamental para la identificación del área interactiva útil es la descomposición del objetivo del usuario en objetivos que el modelo pueda relacionar con las secciones del sitio. Esta descomposición, como se mencionó anteriormente, se hace a través de la representación de la estructura de la información.

El modelo utiliza una pila de objetivos para llevar el control de cuál objetivo se debe resolver y cuántos más faltan por cubrir. Cuando el objetivo del tope de la pila no puede ser resuelto por ninguno de los elementos de la página actual, se descompone en otros objetivos de más bajo nivel, que son agregados a la pila. Cuando el objetivo del tope no puede ser dividido en otros de más bajo nivel y este no se puede resolver con ninguno de los artefactos se deshace el último paso de descomposición del objetivo del nivel anterior, para buscar otro objetivo alternativo.

Para la selección de la acción del usuario se utiliza la información que aporta la red bayesiana de ese usuario, como se vio en la sección anterior esta red contiene la información de sus interacciones anteriores y se espera que en esta nueva interacción su comportamiento sea similar a los anteriores.

Cuando el objetivo de más alto nivel no puede ser resuelto, se indica que el modelo no puede resolverlo en base al comportamiento anterior.

### 5.3. Resumen

En este capítulo se relacionaron los conceptos de la ingeniería semiótica con el problema de la navegación web y de manera más específica con nuestro interés de modelar el entendimiento del usuario sobre la interfaz de una aplicación interactiva.

Este análisis nos permitió construir una justificación del procedimiento que utilizamos para construir los elementos de nuestro modelo de la interacción de una persona con una interfaz de usuario. De acuerdo con esta argumentación, es posible inferir información sobre el entendimiento de la interfaz a partir del análisis de la interacción del usuario, además este conocimiento puede ser estructurado mediante un modelo bayesiano capaz de manejar la incertidumbre de este tipo de conocimiento.

Esta abstracción del entendimiento de la interfaz nos permite construir un modelo computacional que permite reflejar la forma en que la comprensión del usuario sobre la interfaz afecta sus decisiones de navegación.

En el capítulo 6 se muestra de forma específica los resultados al aplicar esta propuesta para modelar el conocimiento del usuario.





## Capítulo 6

# Arquitectura de evaluación para modelos cognitivos computacionales

El análisis del comportamiento del usuario, en términos de modelos cognitivos basados en la observación, requiere de una labor intensa de análisis del comportamiento del usuario. Este análisis de la interacción del humano con un sistema web debe realizarse dentro del contexto del significado de la actividad del usuario.

En este trabajo hemos analizado el impacto que tiene la información que comunican los componentes interactivos de la interfaz, durante la navegación web. Para ello hemos establecido un modelo que permite analizar la navegación web; dicho modelo posibilita la inferencia del entendimiento del usuario de la interfaz de una aplicación web, en el contexto de una tarea específica. De acuerdo con la hipótesis de este trabajo, el conocimiento construido de esta forma es suficiente para predecir el impacto de esta información en las decisiones de navegación del usuario.

En este capítulo se presenta una arquitectura general de seguimiento del usuario para modelos cognitivos de la navegación web. Esta arquitectura posibilita la evaluación de modelos computacionales que predicen el comportamiento del usuario y se basa en la comparación de las predicciones contra conjuntos de datos obtenidos de la observación del usuario.

Para la evaluación de las predicciones de nuestro modelo diseñamos un esquema de evaluación basado en esta arquitectura general.

## 6.1. Método general para la evaluación de modelos cognitivos computacionales

Pirolli et al. [73] desarrollaron un método de evaluación para modelos cognitivos computacionales. El método está basado en la comparación de las predicciones de un modelo computacional contra el comportamiento observado en un grupo de usuarios. Para este tipo de evaluaciones se asume que el usuario siempre tratará de elegir la acción que maximice sus posibilidades de alcanzar sus objetivos.

La propuesta involucra la creación de la traza del usuario: un registro de todos los estados significativos y eventos producidos durante la interacción del usuario en la web, extraídos del análisis de la observación del usuario a través de instrumentos como el sistema eye tracking, bitácoras de las aplicaciones y protocolos de pensamiento en voz alta.

El modelo que simula el comportamiento del usuario debe realizar la misma tarea que el usuario observado, así el modelo predice la interacción del usuario para realizar esta tarea. La propuesta de evaluación está acompañada de una arquitectura de seguimiento del usuario, la cual compara cada acción de la simulación contra las acciones reales observadas.

Los componentes de la arquitectura de seguimiento del usuario son (figura 6.1):

**Tareas.** Al usuario se le asigna una tarea que debe realizar, la tarea se le indica de manera escrita. Esta misma tarea también se le indica al modelo de forma escrita. El usuario realiza la tarea usando un navegador de la web.

**Instrumentación.** El navegador permite producir una traza del comportamiento y se captura el pensamiento en voz alta del usuario mientras realiza su tarea. Todas las páginas web accedidas son almacenadas, mientras que representaciones de estas trazas son generadas y almacenadas junto con la codificación de las transcripciones de las narraciones. El resultado es una base de datos que contienen trazas del usuario y los datos asociados a la interacción (figura 6.2).

**Modelo de simulación cognitivo-perceptual.** Este será el modelo que simula el comportamiento del usuario; en la propuesta de Pirolli, el modelo de simulación fue SNIF-ACT, descrito en el capítulo 3.

**Comparación con el usuario.** El modelo se ejecuta en la arquitectura de seguimiento del usuario. En cada ciclo, el modelo hace una predicción, generando otro elemento en la traza. El comparador del seguimiento del usuario usa un conjunto de reglas para determinar cuándo hay una coincidencia con la traza del protocolo, de lo contrario se indica un error contra el modelo y se desecha el último paso.

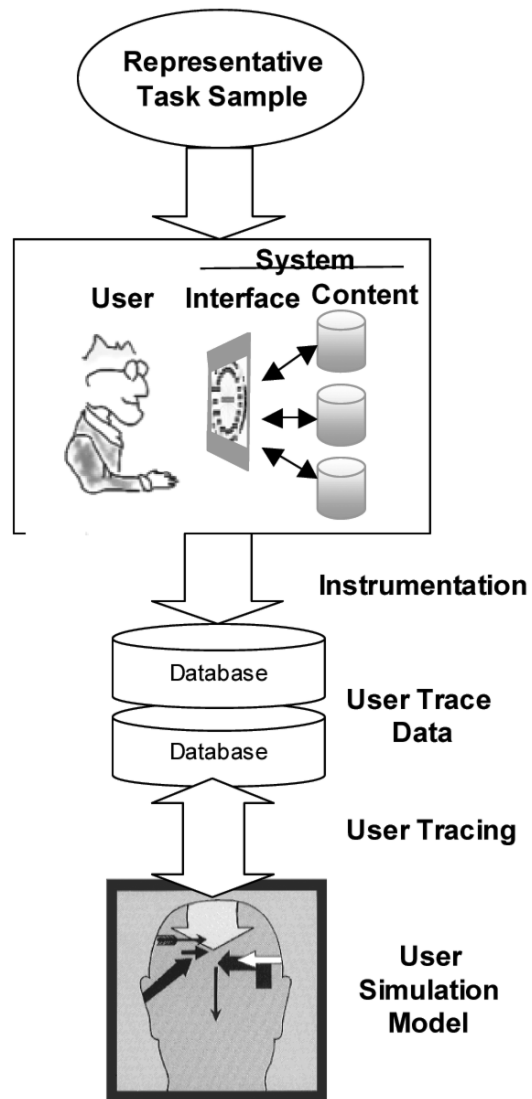


Figura 6.1: Arquitectura de seguimiento del usuario [73]

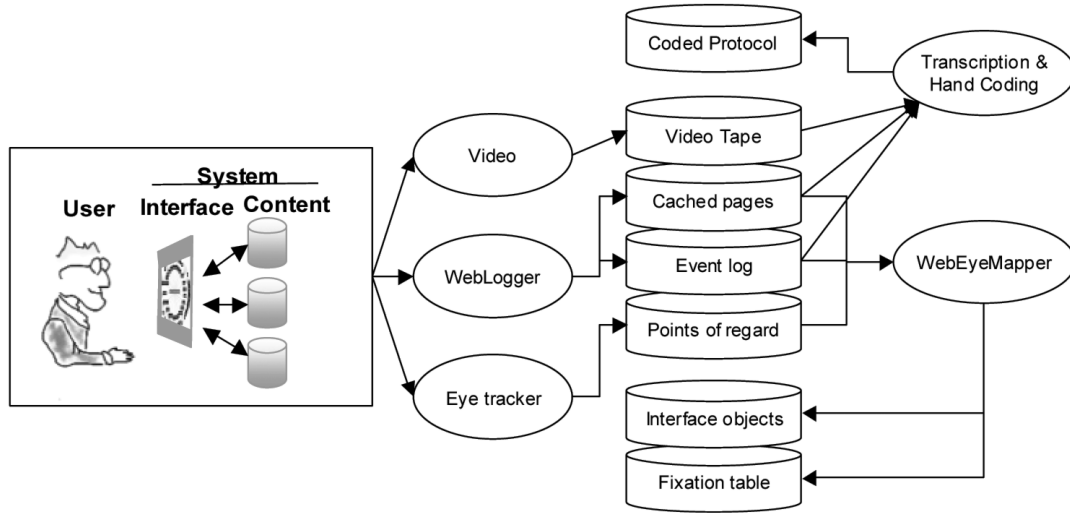


Figura 6.2: Instrumentación de la arquitectura de seguimiento del usuario [73]

## 6.2. Arquitectura de seguimiento y comparación del comportamiento del usuario

A diferencia de la metodología anterior, en nuestra evaluación no se considera la herramienta de pensamiento en voz alta, ni se modificó el comportamiento del navegador para la generación de la traza del comportamiento. En esta propuesta reconstruimos su comportamiento a partir de las bitácoras de la aplicación web, lo que resulta de gran utilidad para nuestra evaluación, pues nos permite identificar la tarea que el usuario realizó a partir de los estados que se van alcanzando durante la interacción con la aplicación web. Además, esta reconstrucción nos ofrece información sobre la experiencia del usuario con la interfaz, lo cual es necesario para construir el modelo computacional del entendimiento del usuario, ya que nuestro modelo requiere de este conocimiento para poder hacer las predicciones sobre el comportamiento del usuario.

Los componentes de nuestro modelo de seguimiento del usuario son:

**Tareas.** Las tareas válidas que se pueden realizar en la aplicación web son descritas de acuerdo a la representación de la estructura de la información utilizada para representar la visión del diseñador. Esta descripción especifica una relación jerárquica de objetivos que deben ser utilizados para completar la tarea. Esta relación de objetivos le indica a nuestro modelo cuál es siguiente objetivo a alcanzar para la realización de la tarea que se le asigne.

**Instrumentación.** Todas las trazas del usuario están almacenadas en una base de datos, de donde se puede reconstruir los pasos que cada usuario realizó para completar una tarea. La base de datos también incluye la descripción de todos los objetivos que se deben alcanzar para completar las tareas válidas del usuario.

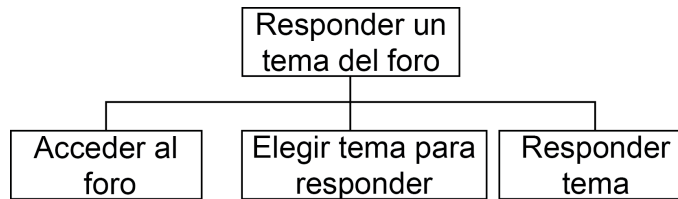


Figura 6.3: Jerarquía de objetivos para resolver la tarea del usuario

**Modelo de simulación cognitivo.** El modelo que es evaluado es nuestra propuesta del modelo de la navegación web basado en el entendimiento del usuario.

**Comparación con el usuario.** El modelo se ejecuta dentro de nuestro ambiente de observación. Para iniciar se le indican la tarea a realizar y el modelo define los objetivos que debe alcanzar. También se incorporan al modelo el conocimiento previo del usuario sobre la interfaz web. En cada ciclo el modelo hace una predicción, generando una acción a realizar. Se consulta con la base de datos para ver si la acción coincide con la traza del usuario, de lo contrario se indica un error contra el modelo y se deshace la última acción sustituyéndola por la acción real del usuario.

En la siguiente sección se describen más a detalle las observaciones sobre cada uno de estos elementos.

### 6.2.1. Tarea del usuario

Aunque el número de posibles tareas válidas en la web puede ser muy grande, para el estudio del entendimiento del usuario debemos definir primero la tarea del usuario, ya que, como lo hemos mencionado anteriormente, el entendimiento de una interfaz está estrechamente relacionado con la tarea específica que le interesa al usuario.

A continuación se presenta un ejemplo de una tarea del usuario, para ilustrar la forma en que se representa la tarea del usuario en nuestro modelo. Al usuario se le especifica la tarea de forma escrita como se muestra en el siguiente ejemplo:

Contestar una pregunta publicada por el profesor en el foro de discusión, que aparece como parte de las actividades de la semana actual.

Al modelo se le indica la misma tarea representada como un objetivo válido del sistema, de acuerdo a la representación de la estructura de la información especificada por el diseñador. Esta representación especifica los objetivos de un nivel más bajo que resuelven la tarea del usuario, y que el modelo puede procesar (figura 6.3).

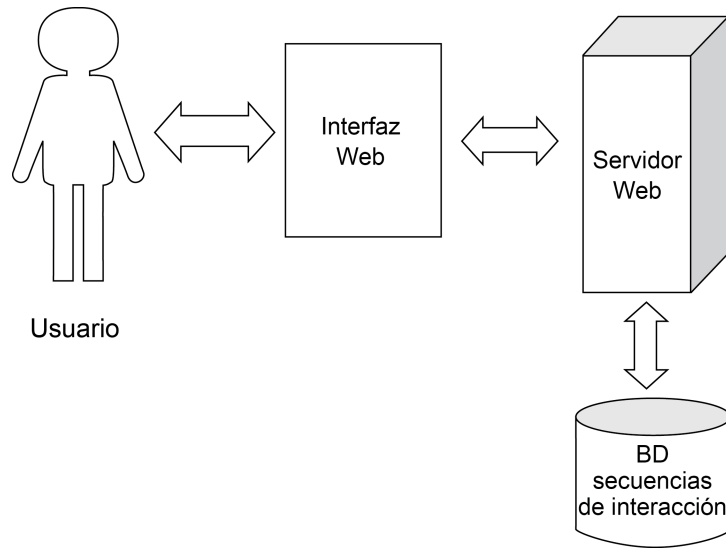


Figura 6.4: Instrumentación del seguimiento del usuario

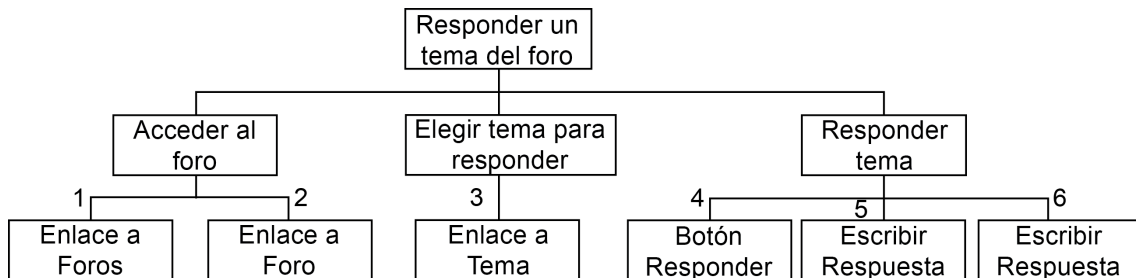


Figura 6.5: Representación gráfica de la interacción del usuario

### 6.2.2. Instrumentación

A diferencia de la propuesta general de Pirolli et al. [73], en nuestra adaptación de la arquitectura de seguimiento del usuario la traza no se construye a nivel del navegador, sino a nivel del servidor web (figura 6.4), donde están alojadas las bitácoras de uso de la aplicación.

La información de la interacción extraída de las bitácoras del sistema es complementado por un video que graba la interacción del usuario.

El análisis de la interacción se realiza después de concluida la sesión con el usuario, cuando podemos obtener una visión completa de cómo el usuario resolvió su tarea, en términos del uso de los artefactos interactivos de la interfaz, como se ilustra en la figura 6.5.

### 6.2.3. Modelo de simulación

Nuestro modelo maneja una representación general de la estructura de información del sitio, así como de las actividades válidas dentro del mismo, construidas de acuerdo al procedimiento descrito en el capítulo anterior. Adicionalmente se debe extraer de las bases de datos la representación del entendimiento del usuario que se está observando en la evaluación.

Esta representación esta actualizada hasta la sesión anterior a la evaluación, para tratar de representar de la manera más completa posible el conocimiento real del usuario.

### 6.2.4. Comparación con el comportamiento del usuario

La comparación entre las predicciones del modelo y el comportamiento del usuario se realiza en una etapa de análisis posterior a la sesión de observación del usuario. Por tanto el comportamiento del usuario correspondiente a la sesión de evaluación se extraerá de la base de datos. La representación del entendimiento del usuario también se obtiene de la base de datos cuidando que no incluya los posibles cambios generados por la sesión de evaluación.

Para la comparación de las predicciones del modelo se ejecutan los siguientes pasos:

1. Se indica al modelo el objetivo a alcanzar.
2. Se indica la página de inicio como el punto de inicio
3. El modelo localiza el punto de inicio dentro de la estructura de la información del sitio web.
4. El modelo verifica si ya alcanzó el objetivo indicado, si es así indica éxito.
5. De lo contrario continua.
6. El modelo genera la acción más útil
7. Se compara la acción más útil con el comportamiento real del usuario.
8. Si la acción es igual al comportamiento real se ejecuta y se indica un acierto para el modelo.
9. De lo contrario, se corrige la acción más útil con el comportamiento real y se indica un error para el modelo.
10. Se actualiza el punto de inicio de acuerdo a la acción ejecutada y se regresa al paso

### 6.3. Resumen

En este capítulo se describió como fue evaluado el desempeño de nuestra propuesta de un modelo cognitivo computacional basado en el entendimiento del usuario. Para la evaluación del desempeño se adaptó un método general para la evaluación de modelos cognitivos computacionales propuesto por Pirolli et al [73].

Este método general fue diseñado como una alternativa a los métodos estadísticos tradicionales que buscan ponderar la información cognitiva de diferentes usuarios y los mecanismos perceptuales de manera general. El método permite realizar observaciones específicas para un usuario y así comparar las predicciones del modelo contra un comportamiento real en el contexto de una tarea válida.

Los resultados sobre el desempeño del modelo serán descritas en el siguiente capítulo en el contexto de cada uno de los casos de uso analizados.



## Capítulo 7

# Casos de estudio

En el capítulo 5 se describió como construir una representación computacional del entendimiento de una interfaz web a partir del análisis de la interacción del usuario con dicha interfaz. En ese momento sólo se ilustró con algunos pequeños ejemplos la construcción de ciertos elementos de la propuesta, en este capítulo se aplica este modelo a dos situaciones completas, para observar el desempeño de nuestra propuesta.

Para realizar la evaluación del modelo seguiremos la arquitectura propuesta en el capítulo 6. Esta propuesta plantea la comparación de la predicción del comportamiento de un usuario previamente observado contra su comportamiento real cuando ambos intentan resolver la misma tarea.

En la primera sección de este capítulo se analiza cómo el modelo nos permite generar una explicación del comportamiento del usuario en una situación real y, además, se señala la capacidad de la propuesta para analizar el diseño de una interfaz de usuario. En la segunda sección se analiza el comportamiento de los usuarios de otro sistema web, a partir de este análisis se identifican problemas con la comprensión de la interfaz y se plantea el uso del modelo para construir un sistema de ayuda personalizada.

### 7.1. Análisis del uso del sistema gestor de cursos Moodle

“Moodle es un paquete de software para la creación de cursos y sitios Web basados en Internet. La palabra Moodle era al principio un acrónimo de Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment (Entorno de Aprendizaje Dinámico Orientado a Objetos y Modular), lo que resulta fundamentalmente útil para programadores y teóricos de la educación.” [3].

La plataforma de Moodle ofrece una numerosa colección de herramientas que la convierten en un instrumento versátil para la docencia. Los usuarios de la plataforma pueden clasificarse en tres tipos: administradores, profesores y estudiantes. Los administradores pueden realizar la gestión de toda la plataforma, los profesores pueden crear y administrar

el contenido de los cursos y los estudiantes sólo tienen acceso a dichos contenidos.

Para este análisis consideramos solamente el comportamiento de los estudiantes durante su interacción con Moodle. Los usuarios fueron estudiantes que seguían un curso de inteligencia artificial dentro de este sistema. Por lo tanto, aunque el número de tareas que se pueden realizar dentro de Moodle es muy grande, nuestros usuarios sólo podían realizar un número limitado de ellas. Las actividades válidas que observamos fueron:

- Consultar recursos,
- Enviar tareas,
- Participar en algún foro de discusión.

En las siguientes secciones se describe cómo se representa la estructura de la información del sistema, cómo se presentan las tareas que el usuario puede resolver, se describen los resultados al comparar el modelo computacional contra usuarios reales, y se finaliza este análisis con una serie de observaciones sobre el modelo y su evaluación.

#### **7.1.1. Estructura de la información de Moodle**

Desde el punto de vista de los estudiantes, la mayoría las actividades que puede realizar están asociadas a un curso. Aunque hay actividades generales, como el proceso de registro en la plataforma, en este análisis nos enfocamos en el análisis de aquellas actividades realizadas dentro de un curso.

El aspecto de la página de inicio de cualquier sistema Moodle es muy similar. De forma general se puede indicar que para tener acceso a los contenidos de un curso hay que pasar por proceso de autenticación en el que se debe proporcionar el nombre de usuario y la contraseña. Luego de la autenticación el usuario tiene acceso a todos los cursos en los que esté registrado.

#### **Organización general de un curso en Moodle**

La pantalla principal de un curso se compone de tres secciones principales (figura 7.1):

- Sección de información general del curso
- Sección de Contenidos del curso
- Sección de Bloques

En la sección de información general del curso se presenta la información general del curso y controles de navegación del curso. Los componentes principales de esta sección son:

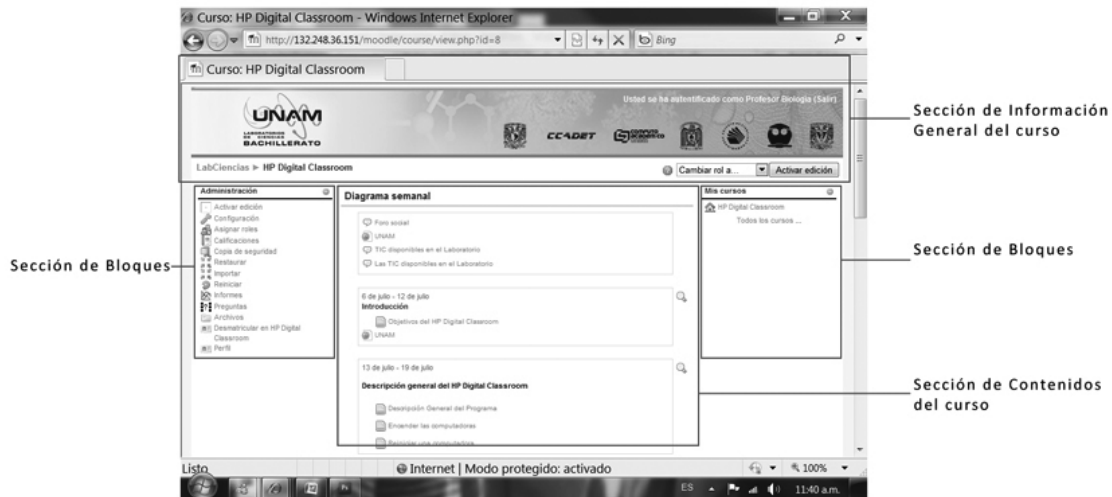


Figura 7.1: Organización de la pantalla de inicio de un curso

- El nombre del curso: En esta zona se muestra el nombre corto que se asignó al curso.
- Barra de navegación: Muestra la ruta relativa del recurso o actividad que se muestra en la sección de contenidos. Inicialmente se muestra el nombre corto asignado al curso.
- Estado de la sesión: Muestra el nombre del usuario autenticado en el curso.

La sección de contenidos del curso es la columna central de la página del curso. Se muestra el contenido, recursos y actividades del curso. Para la organización del contenido del curso se proponen tres formatos:

- Formato de curso semanal: El curso es organizado por semanas, con fecha de inicio y fin. Cada semana contiene sus propias actividades.
- Formato por temas: El curso es organizado por temas. Los temas no se limitan en el tiempo.
- Formato social: Este formato se orienta a un foro central que generalmente aparece en la página principal.

Los bloques son elementos que proporcionan funcionalidad adicional a los estudiantes. Generalmente los bloques se ubican del lado derecho o izquierdo de la sección de contenidos. Los principales bloques son:

- Actividades: Muestra una lista de los distintos tipos de actividades disponibles para el curso. Cada elemento de la lista está vinculado con una página que muestra todas las actividades del tipo correspondiente disponibles para este curso.

- **Administración:** Permite acceder a diferentes herramientas administrativas en función de su perfil. Como estudiante puede consultar sus calificaciones del curso, editar su información personal, cambiar su contraseña y desmatricularse de un curso.
- **Calendario:** Despliega los eventos del curso correspondientes al mes actual.
- **Eventos próximos:** Indica los eventos que están más próximos a ocurrir para este curso, estos eventos pueden ser la fecha límite de entrega de una tarea o una reunión con profesores.
- **Mis cursos:** Este bloque muestra la lista de los cursos en los que participa, ya sea como estudiante o profesor.
- **Buscar en foros:** Por medio de esta herramienta se pueden realizar búsquedas en los mensajes de todos los foros del curso.
- **Actividad reciente:** Presenta una lista de las últimas actividades desarrolladas por los estudiantes y profesores del curso.

### **Representación de la estructura de la información de un curso**

El comportamiento del usuario que analizamos fue la interacción que está asociada al uso de los contenidos del curso, por lo tanto en esta sección describimos la estructura de la información asociada al seguimiento de un curso.

El formato del curso que analizaremos es semanal, esto significa que las actividades están organizadas en semanas, aunque el sistema permite que los estudiantes accedan a todos los recursos y actividades disponibles en cualquier momento.

De acuerdo con la descripción de nuestro modelo, la representación de la estructura de la información debe reflejar las relaciones de la organización propuesta por el diseñador. La figura 7.2 muestra la página principal del curso: se muestran los bloques descritos anteriormente y los contenidos del curso en la parte central de la página.

A partir del análisis de la información presentada en la página principal generamos su representación como un sitemap para que el modelo pueda manejarla. La figura 7.3 presenta una representación gráfica de la estructura de la información de la página principal del curso. Los elementos subrayados son áreas de la interfaz que podían contener un número variable de ligas, según la actividad de los usuarios y profesores en el curso, por lo tanto puede diferir en cada sesión del usuario.

#### **7.1.2. La tarea del usuario**

El curso en el que los estudiantes observados estaban inscritos sólo les permitía realizar las siguientes actividades:

- Ver página de inicio del curso.



Figura 7.2: Pantalla de principal del curso

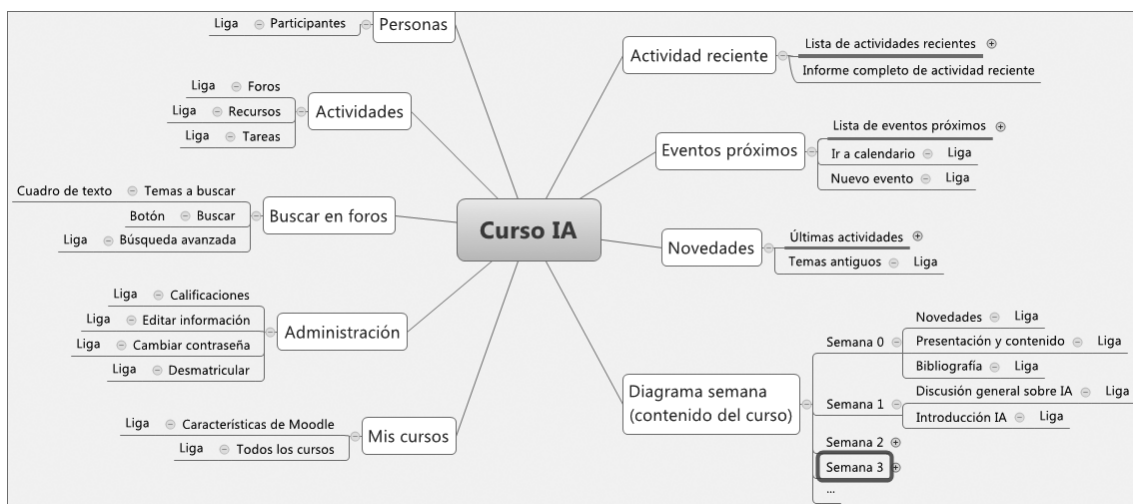


Figura 7.3: Estructura de la información de la página principal

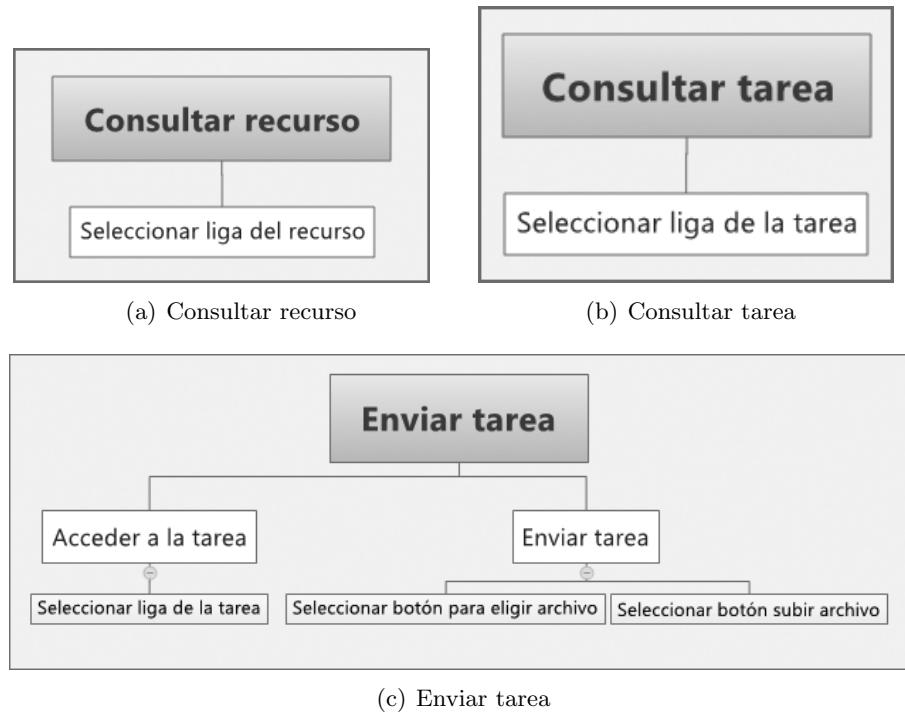
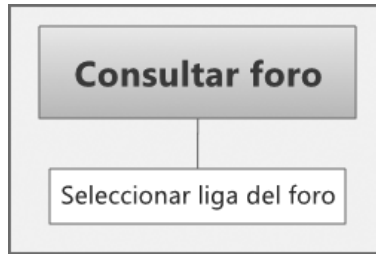


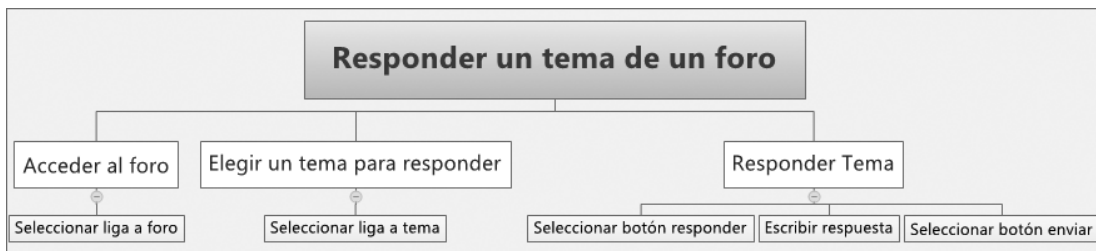
Figura 7.4: Recursos y tareas

- Consultar listado de todos los recursos.
- Consultar un recurso.
- Consultar listado de todas las tareas.
- Consultar una tarea.
- Consultar una tarea enviada.
- Enviar una tarea.
- Consultar listado de todos los foros.
- Consultar un foro de discusión.
- Participar en un foro de discusión.

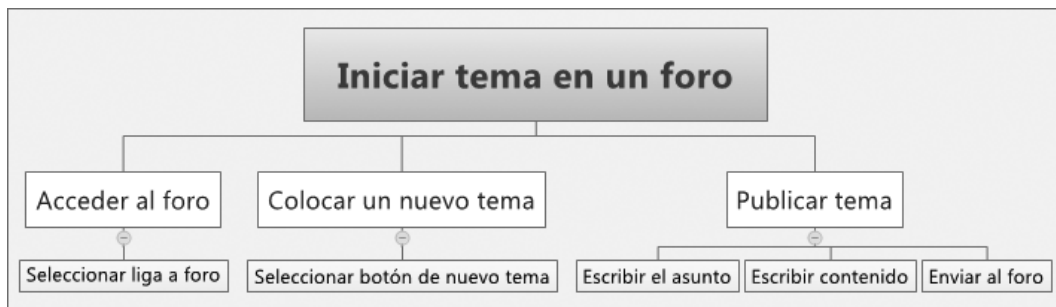
Al modelo se le especifica cómo realizar cada una de estas tareas. Las figuras 7.4(a), 7.4(b), 7.4(c), 7.5(a), 7.5(b) y 7.5(c) presentan una representación gráfica de la especificación de consultar un recurso, consultar una tarea, enviar una tarea, consultar un foro, responder un tema de un foro e iniciar un nuevo tema en un foro, respectivamente.



(a) Consultar foro



(b) Responder un tema de un foro



(c) Iniciar un nuevo tema en un foro

Figura 7.5: Actividades en los foros

Sesiones	Usuarios	Total de sesiones
[60, 70]	4	271
[50, 60)	5	275
[40, 50)	8	357
[30, 40)	3	109
Total	20	1012

Tabla 7.1: Usuarios agrupados por sesiones

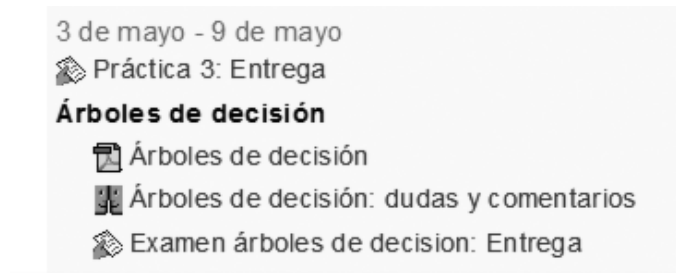


Figura 7.6: Recursos necesarios para la tarea del usuario

### 7.1.3. Evaluación del modelo

Para la evaluación se observó la interacción de 20 usuarios durante 16 semanas, de esta observación se reconstruyeron aproximadamente 1600 sesiones de trabajo en Moodle. En muchos de los casos un usuario entraba a la plataforma, accede a la página principal del curso y sale sin realizar mayor interacción. Estas sesiones fueron excluidas de nuestro análisis, por lo cual sólo consideramos 1012 sesiones en nuestro análisis.

#### Análisis general del comportamiento del usuario

La observación de la interacción de los usuarios nos permite reconstruir la forma en que los usuarios utilizan la interfaz para alcanzar sus objetivos.

Los usuarios observados realizaron entre 30 y 70 sesiones a lo largo de estas 16 semanas, utilizamos esta información para realizar una primera agrupación de los usuarios (tabla 7.1) y plantear algunas primeras anotaciones sobre el uso de la interfaz.

A partir de la semana 13 los usuarios debían de realizar una tarea que nos interesó observar:

Para un tema concreto, leer el documento sobre el tema, participar en un foro de discusión al respecto y resolver un examen sobre el tema.

La figura 7.6 muestra los recursos que deberían usarse para resolver la tarea respecto al tema “Árboles de decisión”: el estudiante debería consultar el recurso “Árboles de



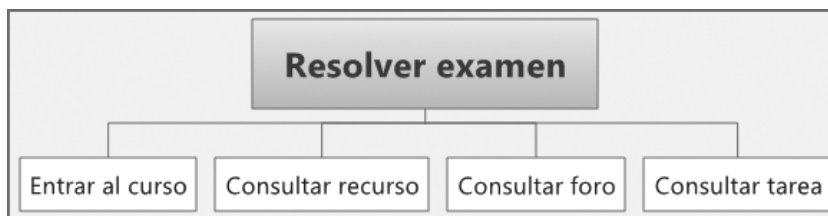


Figura 7.7: Objetivos asociados a la tarea “Resolver examen”

decisión”, participar en el foro correspondiente y consultar el examen del tema.

En términos de jerarquía de objetivos la tarea se muestra en la figura 7.7. Una vez definida la jerarquía de objetivos, cada usuario puede resolver un objetivo con una serie de artefactos interactivos diferentes de acuerdo a las posibilidades que ofrece la interfaz, a continuación se describen algunas de ellas:

- Solución del diseñador: ver página de inicio del curso, consultar un recurso, consultar foro, consultar tarea
- Solución más común: ver página de inicio del curso, consultar recurso, ver página de inicio del curso, consultar foro, ver página de inicio del curso, consultar tarea
- Solución alternativa: ver página de inicio del curso, consultar recurso, ver página de inicio del curso, consultar listado de todos los foros, consultar foro, ver página de inicio del curso, Consultar listado de todas las tareas, consultar tarea

La solución del diseñador se considera la forma más eficiente en términos del número de pasos para resolver esta tarea, en nuestra observación ninguno de los usuarios resolvió la tarea de esta forma.

La tarea antes descrita fue resuelta para dos temas distintos en la semana 13 y semana 14. Para el tema de la semana 15 se eliminó el foro de discusión quedando la tarea como sigue:

Para un tema concreto, leer el documento sobre el tema y resolver un examen sobre él.

Este primer análisis nos permite reconocer las ventajas de usar nuestra representación del comportamiento del usuario y compararlo con el comportamiento esperado, la propuesta del diseñador.

### **Análisis de la interacción usando la arquitectura de seguimiento del usuario**

Para observar con detalle la evolución de las predicciones de nuestro modelo realizamos una medición de su desempeño siguiendo la arquitectura de seguimiento del usuario descrita previamente.

Usuario	Semana																Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	5	7	5	5	4	6	2	3	5	3	4	3	6	4	3	5	70
2	5	8	6	4	3	3	1	2	3	4	4	5	7	5	5	4	69
3	4	6	6	6	5	3	2	3	4	4	5	3	4	4	4	4	67
4	1	6	5	6	7	5	3	2	3	3	4	3	4	4	5	4	65
5	3	5	4	5	3	4	1	3	3	4	5	5	4	4	3	2	58
6	4	5	5	5	3	2	1	2	2	3	4	4	4	5	4	4	57
7	3	4	4	3	3	3	1	3	5	3	4	5	5	3	3	3	55
8	4	5	5	3	4	3	0	3	5	3	4	4	4	3	2	1	53
9	3	4	4	4	3	2	1	2	3	4	3	4	5	4	3	3	52
10	3	5	4	3	4	2	1	2	3	3	4	4	4	3	2	2	49
11	3	3	4	4	3	3	2	2	3	3	2	4	3	3	3	3	48
12	2	5	4	3	2	3	1	2	3	3	4	4	4	3	2	1	46
13	3	4	4	3	2	3	2	2	3	2	3	4	3	3	2	2	45
14	3	3	4	4	3	2	0	2	2	2	3	5	5	3	2	1	44
15	3	4	3	3	2	2	1	1	3	2	3	4	4	3	3	2	43
16	2	4	3	4	3	2	0	1	3	3	2	3	5	3	2	2	42
17	3	4	3	4	4	2	1	1	3	2	2	3	2	2	2	2	40
18	3	3	4	3	2	2	1	2	3	2	2	3	3	2	2	2	39
19	2	3	3	2	3	2	0	2	2	3	2	4	3	2	2	3	38
20	1	3	3	3	2	1	0	1	2	2	2	3	3	2	2	2	32
	60	91	83	77	65	55	21	41	63	58	66	77	82	65	56	52	1012

Tabla 7.2: Distribución del número de sesiones por cada usuario a lo largo de las semanas

La tabla 7.2 muestra la distribución del número de sesiones de los usuarios durante las 16 semanas. Se puede observar que el comportamiento de los usuarios es bastante constante en el número de sesiones a lo largo de las 16 semanas, es decir, hay una actividad regular en la plataforma y esto nos permite obtener información suficiente para analizar su comportamiento.

Cada medición se realizó después de observar al usuario durante una semana y se comparó la sesión de la siguiente semana contra las predicciones que del modelo. En la tabla 7.3 se muestran la información de sesiones y predicciones para un usuario. En la primer columna se indica la semana en donde se realiza la medición; en la segunda columna se especifica el número de sesiones observadas durante esa semana; en la tercer columna se señala el total de sesiones observadas hasta ese momento; en la cuarta columna se presenta el número de interacciones o clics del usuario en la sesión de comparación; a continuación se presenta el número de predicciones erróneas en la sesión observada y finalmente el porcentaje de errores en la predicción.

De acuerdo con esta tabla, durante la semana 1 el usuario realiza 5 sesiones, la sesión que se analiza es la número 6, en esta sesión el usuario realiza 8 acciones con los objetos interactivos de la interfaz, el modelo falla en la predicción de 5 de estas acciones. Durante la siguiente semana el usuario realiza 7 sesiones más y se analiza la sesión número 13, en esta sesión el usuario realiza 14 acciones y el modelo falla al predecir 10 de ellas.

Semana	Sesiones de la semana	Sesiones totales	Interacciones en la sesión observada	Predicciones erróneas	Porcentaje de error en la predicción
1	5	5	8	5	62.50
2	7	12	14	10	71.43
3	5	17	13	9	69.23
4	5	22	10	7	70.00
5	4	26	9	5	55.56
6	6	32	8	3	37.50
7	2	34	7	3	42.86
8	3	37	9	5	55.56
9	5	42	8	4	50.00
10	3	45	5	2	40.00
11	4	49	7	3	42.86
12	3	52	5	3	60.00
13	6	58	4	1	25.00
14	4	62	4	1	25.00
15	3	65	5	1	20.00

Tabla 7.3: Sesiones y predicciones para un usuario

En los datos de la observación del comportamiento del usuario se puede advertir que el porcentaje de error disminuye conforme el modelo tiene un mayor número de sesiones como referencia. Pero en algunas sesiones el error se incrementa nuevamente.

La tabla 7.4 muestra el porcentaje de error en las predicciones del modelo en 7 usuarios a lo largo de 15 semanas.

La figura 7.8 describe el desempeño del modelo a lo largo de las 15 semanas de observación.

En la semana 15, se observaron siete sesiones de usuarios diferentes que realizaron la tarea especificada de manera completa. Al analizar su interacción se observa que durante su sesión de trabajo también realizaban otra tarea adicional, como consultar una calificación de alguna tarea ya entregada o ver los mensajes de otro foro de discusión. Comparar este tipo de comportamiento contra el modelo de simulación generó un número importante de errores en la predicción de las acciones de los usuarios, ya que había una diferencia entre los objetivos del usuario y los del modelo.

Para tener mayor control sobre el objetivo actual del usuarios se planteo una evaluación presencial, donde se pide explícitamente a los usuarios realizar la misma tarea que nuestro modelo de simulación. La tarea a resolver es:

Para el tema “Algoritmos Genéticos” descargar el documento “Aplicando el proceso de evolución y selección natural a un videojuego”, así como el examen, que previamente

Semana	U 1	U 2	U 7	U 9	U 11	U 13	U 20	Promedio	Desviación Estandar
1	62.50	66.67	66.67	71.43	62.50	85.71	77.78	70.46	8.59
2	71.43	60.00	50.00	62.50	80.00	62.50	75.00	65.92	10.19
3	69.23	80.00	66.67	66.67	66.67	71.43	62.50	69.02	5.56
4	70.00	50.00	62.50	71.43	60.00	66.67	66.67	63.89	7.30
5	55.56	66.67	66.67	80.00	57.14	75.00	66.67	66.81	8.77
6	37.50	33.33	60.00	60.00	60.00	50.00	0.00	50.14	12.12
7	42.86	33.33	60.00	66.67	75.00	60.00	33.33	53.03	16.56
8	55.56	25.00	50.00	75.00	50.00	50.00	40.00	49.37	15.15
9	50.00	60.00	25.00	75.00	40.00	57.14	50.00	51.02	15.78
10	40.00	40.00	66.67	50.00	50.00	50.00	0.00	42.38	20.70
11	42.86	57.14	25.00	33.33	62.50	60.00	20.00	42.98	17.40
12	60.00	50.00	66.67	40.00	44.44	50.00	50.00	51.59	9.05
13	25.00	25.00	33.33	25.00	57.14	16.67	20.00	28.88	13.49
14	25.00	40.00	25.00	0.00	40.00	14.29	14.29	26.43	11.55
15	20.00	50.00	50.00	20.00	25.00	16.67	16.67	28.33	15.06

Tabla 7.4: Errores en la predicción del comportamiento del usuario

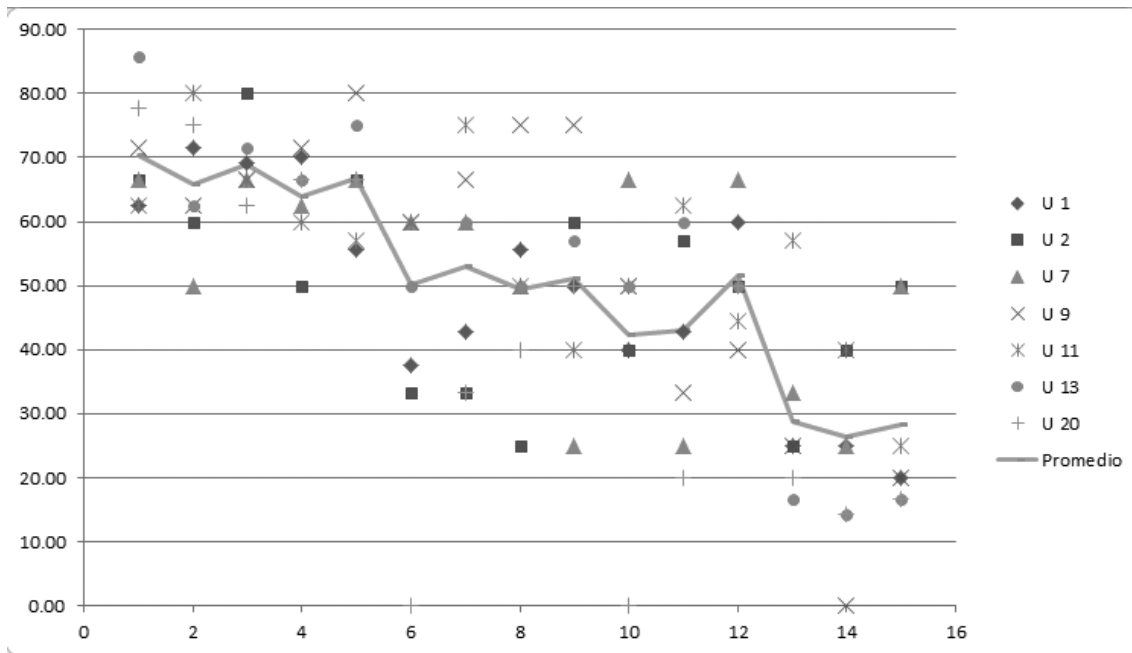


Figura 7.8: Errores en la predicción del comportamiento del usuario

**Algoritmos Genéticos**

- Aplicando el proceso de evolución y selección natural a un videojuego
- Examen Algoritmos Genéticos

Figura 7.9: Tarea para evaluación presencial

enviaron, correspondiente al tema (figura 7.9).

Participaron seis usuarios en esta evaluación, la tabla 7.5 indica para cada uno de los usuarios el número de sesiones hasta la semana 16, el número de acciones que realizó el usuario para resolver la tarea, las acciones que realizó y las acciones que predijo el modelo.

Tabla 7.5: Comparación del comportamiento del usuario contra las predicciones del modelo

Usuario	Sesiones Previas	Núm. de acciones	Acciones del usuario observadas	Predicciones hechas por el modelo
1	55	5	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ver página de inicio del curso,</li> <li>2. <i>consultar tareas</i>,</li> <li>3. consultar tarea,</li> <li>4. ver página de inicio del curso,</li> <li>5. consultar recurso</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ver página de inicio del curso,</li> <li>2. <i>consultar recurso</i>,</li> <li>3. consultar tarea,</li> <li>4. ver página de inicio del curso,</li> <li>5. consultar recurso</li> </ol>
2	32	7	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ver página de inicio del curso,</li> <li>2. consultar recursos,</li> <li>3. consultar recurso,</li> <li>4. <i>consultar recursos</i>,</li> <li>5. ver página de inicio del curso,</li> <li>6. consultar tareas,</li> <li>7. consultar tarea</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ver página de inicio del curso,</li> <li>2. consultar recursos,</li> <li>3. consultar recurso,</li> <li>4. <i>consultar curso</i>,</li> <li>5. ver página de inicio del curso,</li> <li>6. consultar tareas,</li> <li>7. consultar tarea</li> </ol>
3	45	6	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ver página de inicio del curso,</li> <li>2. consultar recursos,</li> <li>3. consultar recurso,</li> <li>4. ver página de inicio del curso,</li> <li>5. consultar tareas,</li> <li>6. consultar tarea</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ver página de inicio del curso,</li> <li>2. consultar recursos,</li> <li>3. consultar recurso,</li> <li>4. ver página de inicio del curso,</li> <li>5. consultar tareas,</li> <li>6. consultar tarea</li> </ol>

Usuario	Sesiones Previas	Núm. de acciones	Acciones del usuario observadas	Predicciones hechas por el modelo
4	70	4	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ver página de inicio del curso,</li> <li>2. consultar recurso,</li> <li>3. página anterior,</li> <li>4. consultar tarea</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ver página de inicio del curso,</li> <li>2. consultar recurso,</li> <li>3. página anterior,</li> <li>4. consultar tarea</li> </ol>
5	52	4	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ver página de inicio del curso,</li> <li>2. consultar recurso,</li> <li>3. consultar curso,</li> <li>4. consultar tarea</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ver página de inicio del curso,</li> <li>2. consultar recurso,</li> <li>3. consultar curso,</li> <li>4. consultar tarea</li> </ol>
6	48	5	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ver página de inicio del curso,</li> <li>2. consultar recurso,</li> <li>3. página anterior,</li> <li>4. consultar tarea</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ver página de inicio del curso,</li> <li>2. consultar recurso,</li> <li>3. página anterior,</li> <li>4. consultar tarea</li> </ol>

El análisis de esta evaluación (tabla 7.5) nos permite observar que el usuario 1 decide resolver la tarea en orden inverso, esto provoca que no haya coincidencia en la acción 2 con las predicciones del sistema pero al corregir la predicción equivocada con la acción real, el modelo realiza las predicciones correctas.

Para el caso del usuario 2, al observar su comportamiento, usando el video de la sesión, se identifica que el usuario comete un error al elegir la siguiente acción así que inmediatamente deshace su acción regresando a la página anterior y elige una nueva. El modelo por el contrario hizo una predicción del usuario que coincide con el comportamiento en las sesiones previas del usuario y la tarea especificada, por lo tanto el modelo predice una acción distinta a la del usuario; cuando se identifica que la acción no coincide con la real, el modelo toma la acción real para actualizar la información sobre la página donde se encuentra el usuario en ese momento; luego de esto, el modelo logra predecir las acciones de acuerdo con las acciones reales del usuario.

Para el resto de los usuarios se observa que las acciones que el modelo predice coinciden con las acciones reales.

#### 7.1.4. Observaciones sobre la evaluación

Con este caso de estudio podemos observar como el modelo cognitivo computacional propuesto nos permite representar la forma en que un usuario interactúa con la interfaz de un sistema web de forma detallada, esto nos permite analizar cómo el usuario ha usado

los artefactos u objetos interactivos de la interfaz para realizar sus tareas.

Esta representación de la experiencia previa fue extrapolada hacia una nueva tarea y comparando las acciones que el modelo predice con las que el usuario realiza podemos hablar de la viabilidad de un modelo cognitivo computacional para identificar evidencias del entendimiento de la interfaz a partir del uso de elementos atómicos para la interacción (artefactos interactivos), es decir, los clic capturados (uso de artefactos) son usados como evidencias para predecir el conocimiento del usuario sobre las partes de la interfaz que ya ha usado, esta información se extrapola hacia nuevas partes de la interfaz (botones, ligas y páginas) que no han sido usados previamente.

En esta evaluación se observó cómo este nivel de entendimiento de la interfaz de un sistema, ya sea correcto o incorrecto, define la forma en que cada usuario intenta resolver una tarea. Con nuestra evaluación se midió la capacidad del modelo para representar computacionalmente este conocimiento y el proceso de toma de decisiones, permitiéndonos predecir la forma en que un usuario intenta resolver una tarea.

Con el análisis del comportamiento del usuario se ilustra la utilidad de un modelo del entendimiento del usuario de una interfaz como una herramienta de análisis del diseño de una interfaz de usuario. El análisis del comportamiento del usuario nos permite identificar problemas de comunicabilidad de la interfaz, así como distinguir aquellos elementos de la interfaz que no están siendo comprendidos totalmente.

Estos resultados aportan evidencia favorable a nuestra hipótesis: el uso de los artefactos interactivos de la interfaz aporta evidencia sobre el entendimiento de los objetivos de la interfaz de usuario, ya que las preferencias de interacción del usuario están relacionados con su conceptualización de la interfaz.

## **7.2. Análisis del uso del sistema de registro de candidatos a becas del ECOES**

“En el año 2004, por iniciativa de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) se propuso a diferentes Instituciones educativas de nivel superior de México la creación de un Espacio Común de Educación. El propósito fundamental de este espacio es enriquecer la formación de los profesionistas mexicanos entendiendo la educación como un bien público.

Las tareas prioritarias son la movilidad de estudiantes y profesores, la armonización de los planes y programas de estudio, el fortalecimiento de áreas estratégicas y que logre constituirse como un núcleo promotor para extender los beneficios a otras instituciones de educación superior públicas del país.” [2]

Por la necesidad de tener un control eficiente de las solicitudes para participar en el programa de movilidad por parte de los estudiantes se diseñó un sistema informático para apoyar a la realización y control de este proceso, permitiendo recibir y dar seguimiento a las solicitudes a través de la web. Las actividades principales del sistema son:

1. Recibir solicitudes de movilidad.
2. Seguimiento de solicitudes.
3. Evaluación de las solicitudes.

Este sistema ha sido utilizado para la manejar las solicitudes de 8 convocatorias semestrales con un promedio de 600 solicitudes de becas por convocatoria. Se ha observado que en cada convocatoria surgen dudas muy similares sobre la forma en que se debe llenar la solicitud de participación. Aunque en cada institución cuenta con responsables que puede atender las dudas de sus solicitantes de su institución, muchas dudas se envían por correo electrónico a una cuenta central lo cual produce que las dudas no sean resueltas con la rapidez necesaria.

### 7.2.1. Sistema de registro de candidatos del ECOES

El sistema web de registro de candidatos para movilidad estudiantil del ECOES fue desarrollado para apoyar el proceso de solicitud de becas para estudiantes de diferentes universidades de México. El proceso tiene básicamente tres etapas:

1. Los funcionarios de las universidades crean las cuentas de usuario en el sistema para los estudiantes interesados en solicitar una beca.
2. Los estudiantes capturan su información personal y académica en el sistema.
3. Los funcionarios dan seguimiento y evalúan las solicitudes de beca.

De acuerdo con esto, el sistema tiene dos tipos de usuarios: funcionarios y estudiantes. Los funcionarios utilizan el sistema de forma regular y esto les ha permitido aprender su estructura y funcionamiento. En cambio los estudiantes, en general, no conocen el sistema y deben aprender rápidamente su uso para poder concluir de forma satisfactoria la captura de su solicitud de beca.

En esta propuesta consideraremos únicamente las actividades del estudiante, es decir, el proceso de captura de información personal y académica en el sistema. Para realizar esta actividad el usuario debe entrar al sistema y capturar su información en cinco formularios diferentes. Los estudiantes pueden capturar su solicitud de beca en una o más sesiones (figura 7.10).

Para el diseño del sistema se consideró que la aplicación debe soportar las siguientes tareas para que el usuario pueda completar la captura de información personal y académica:

- Navegar y capturar información. El estudiante navega y captura su información siguiendo las instrucciones que el sistema presenta.





Figura 7.10: Elementos de la interfaz del sistema de registro de candidatos para movilidad estudianti

- Guardar información y continuar con la captura más adelante. El estudiante guarda la información capturada y volverá a ingresar al sistema para concluir con su registro
- Capturar información pendiente. El estudiante navega hasta la sección donde tiene información pendiente y captura los datos correspondientes.
- Corregir datos. Cuando el estudiante intenta terminar el proceso de registro y el sistema valida que la información esté completa y en el formato correcto, en caso contrario el estudiante debe regresar al formulario correspondiente y corregir o completar la información necesaria.
- Guardar información y terminar el proceso de registro. El estudiante guarda su información de manera definitiva y concluye el proceso de registro.

### 7.2.2. Modelado del sistema web de registro de candidatos para movilidad estudiantil

De acuerdo con la explicación anterior el estudiante debe capturar toda su información en los siguientes formularios (figura 7.11):

1. Datos personales, que incluyen lugar de nacimiento, nacionalidad, CURP, dirección, teléfono, sexo y RFC.
2. Estudios que realiza, indicando universidad, escuela, nivel de estudios, carrera, duración de la carrera, porcentaje de créditos, promedio general, semestre que cursa, si se encuentra realizando trabajo de tesis debe especificar modalidad de titulación, título del proyecto y datos del tutor.
3. Actividades académicas a realizar durante la movilidad, especificando tipo de actividad, institución, universidad, escuela, duración de la estancia, fecha de inicio, fecha de término y actividades adicionales en caso necesario.
4. Datos adicionales, donde se agrega información de un contacto en caso de emergencia, datos de seguro médico e información de otras becas.

El usuario debe proporcionar esta información y envía el formulario para almacenar los datos, por lo tanto esta será la tarea principal del usuario. Para almacenar la información se cuenta con las siguientes opciones:

- Guardar información sin terminar sesión
- Guardar información y terminar sesión
- Guardar información, terminar sesión y concluir la captura de la solicitud



Figura 7.11: Fragmento de la estructura de la información para el sistema web

Para concluir la captura de la solicitud, el sistema verifica que la información este completa y en el formato correcto antes de almacenarla, cuando hay algún problema indica en dato faltante pero no donde lo puede completar.

En este caso, se espera que todos los usuarios completen la captura de la información de la solicitud de beca (figura 7.12) que es la tarea principal del sistema.

### 7.2.3. Análisis del comportamiento del usuario

Consideraremos la información sólo de una convocatoria para este análisis del uso de la interfaz. La aplicación web fue usada durante un periodo de 4 semanas. Analizando la interacción con el sistema con nuestro modelo podemos observar la forma en que los artefactos interactivos son utilizados por los estudiantes para realizar la captura de información.

De la misma forma que en caso anterior, cada sesión es representada por una secuencia de uso de los artefactos. Por ejemplo, la secuencia: [a1 a8 a2 a9 a6] indica que el usuario ingresa al sistema (a1) va a la forma de datos personales usando el botón “CONTINUAR” (a8) captura información en este formulario (a9) guarda temporalmente esta información (a6) y sale del sistema.

Para nuestro estudio analizamos la información de 2512 sesiones de estudiantes. Para describir de manera general el uso de la aplicación utilizamos la herramienta Weka [31] para determinar patrones de comportamiento del usuario, siguiendo el procedimiento descrito

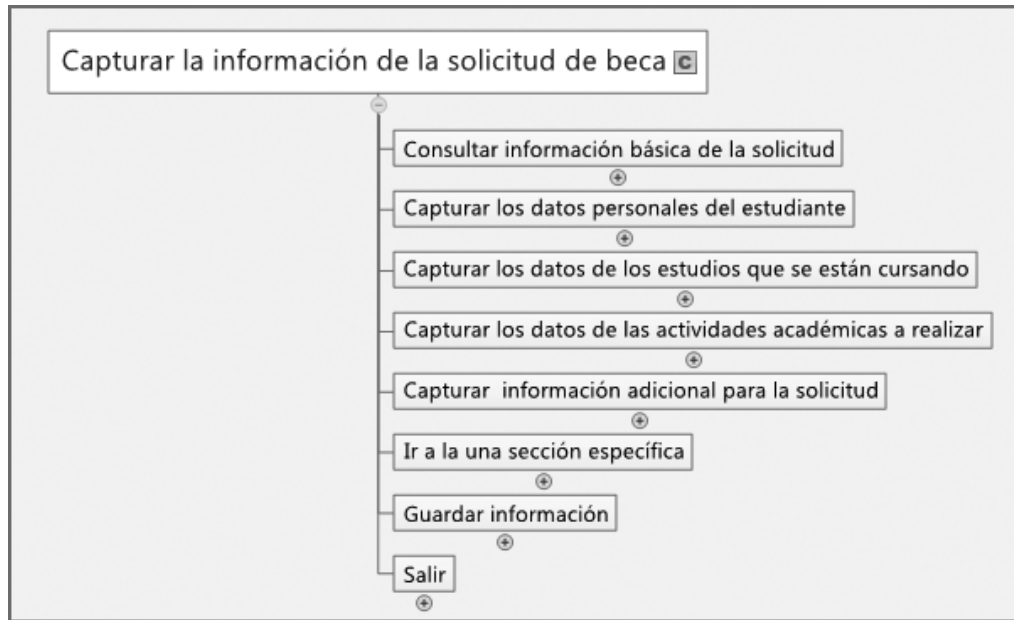


Figura 7.12: Tarea del usuario del sistema web

en el apéndice A. El análisis de estos patrones nos permite darle sentido al comportamiento del usuario.

Tabla 7.6: Patrones de comportamiento del estudiante

	Comportamiento	Descripción	Porcentaje de sesiones
1	[a0]	Usuario que sólo entra para comprobar su nombre de usuario y contraseña	7 %
2	[a1 a2 a3 a4]	Usuario que navega con fluidez en el sistema	3 %
3	[a1 a8 a8 a8 a9 a8]	Usuario que navega siguiendo las instrucciones del sistema	19 %
4	[a1 a8 a9 a6 a11 a0 a6 a11]	Usuario que corrige constantemente	10 %
5	[a1 a3 a9 a6 a10]	Usuario que completa su información navegando directamente a la sección	4 %
6	[a1 a8 a8 a8 a9 a6 a10]	Usuario que completa su información navegando con el botón “CONTINUAR” la aplicación	24 %

7	[a1 a8 a9 a8 a9 a8 a9 a8 a7 a10]	Usuario que captura su información en una sola sesión información	19 %
8	[a2 a9 a10]	Usuario que navega en la aplicaciones usando los controles del navegador	14 %

A partir de los patrones de comportamiento que se muestran en la tabla 7.6 podemos observar la forma en que la mayoría de los usuarios utilizan los artefactos interactivos para realizar cada una de las tareas:

- Navegar y capturar información - El usuario navega usando el botón “CONTINUAR” .
- Guardar información y continuar con la captura más adelante - El usuario guarda la información capturada usando el botón “GUARDAR TEMPORALMENTE” .
- Capturar información pendiente - El usuario navega hasta la sección donde tiene información pendiente usando el botón “CONTINUAR” .
- Corregir datos - el usuario regresa al formulario correspondiente usando el botón “REGRESAR” del navegador.
- Guardar información y terminar el proceso de registro - El usuario guarda su información de manera definitiva usando el botón “GUARDAR” .

Desde el punto de vista del diseñador se considera que no se está usando de manera eficiente la interfaz. Observando los patrones de comportamiento obtenidos, se distingue el poco uso que hacen los usuarios de los botones de acceso directo a las formas de captura (a2, a3, a4, a5), los cuales son de gran utilidad cuando el estudiante debe capturar información pendiente o corregir datos. Sólo dos de los grupos incluyen en sus secuencias a estos artefactos, además de que se analizó la frecuencia de uso para todos los artefactos de la figura 13 y de un número de 8570 acciones realizadas por todos los usuarios, sólo el 5 % corresponde a los artefactos a2, a3, a4, a5.

Todo ello hace evidente que la propuesta del diseñador no fue entendida completamente, en este caso en particular los usuarios no reconocen la importancia de los botones de acceso directo a los formularios.

#### 7.2.4. Comentarios finales

El principal objetivo para desarrollar este caso de estudio en este trabajo fue describir como nuestro modelo de análisis de la navegación web basado en el entendimiento del usuario puede ser utilizado para identificar problemas con el diseño de una aplicación web. Siguiendo la metodología de análisis planteada en este trabajo es posible observar la

forma en que los usuarios utilizan un sitio web y cuando los usuarios no han entendido la propuesta.

### 7.3. Resumen

En este capítulo se analizaron dos casos de estudio que nos permiten ver el modelo en la práctica.

En el primer caso de estudio, el análisis del uso del sistema gestor de cursos Moodle, nos permitió observar de manera más detallada la construcción de los elementos básicos del modelo que se está proponiendo. Se ilustró el proceso de observación del comportamiento del usuario lo cual nos permitió hacer un análisis del uso de la aplicación y así identificar problemas de comunicabilidad de la interfaz.

Con este primer caso de estudio se evaluó el desempeño del modelo dentro de la arquitectura de seguimiento del usuario descrita en el capítulo 5. Esta evaluación nos permitió estudiar el impacto de la interacción con la interfaz en el aprendizaje del funcionamiento de una aplicación interactiva. De esta forma, este entendimiento de la interfaz de un sistema, ya sea correcto o incorrecto, define la forma en que cada usuario intenta resolver una tarea.

El resultado más importante de esta evaluación es reconocer la viabilidad de construir un modelo cognitivo computacional de entendimiento de una interfaz web a partir de la observación del comportamiento del usuario.

En el segundo caso de estudio, se vuelve a ejemplificar cómo el análisis del comportamiento del usuario permite identificar problemas de comunicabilidad de la interfaz. Una vez identificado este problema de comunicabilidad se puede plantear una intervención en la interacción del usuario en donde, como lo describimos en el trabajo a futuro, se puede diseñar un sistema personalizado de ayuda a partir de mensajes que permitan que el usuario pueda complementar su entendimiento de la interfaz y por tanto alcanzar sus objetivos con ella.

## Capítulo 8

# Conclusiones

Las propuestas para la interacción humano-computadora continúan evolucionando constantemente, por lo cual, la revisión y creación de nuevas descripciones y explicaciones de este fenómeno de interacción son indispensables para ampliar la comprensión del mismo. Como se mencionó al inicio de este trabajo, cada uno de estos estudios puede ayudar a mejorar el entendimiento del comportamiento del usuario y así proveer mejores esquemas de interacción.

### 8.1. Entendiendo la navegación web

La revisión realizada, al inicio de este trabajo, de diversos estudios sobre la navegación web, nos permitió identificar distintas perspectivas al respecto, lo cuales podemos agrupar en los siguientes enfoques:

- Propuestas orientadas hacia el análisis y modelado de características de los usuarios y su relación con la información disponible en la web, a partir de lo cual se puede para determinar, por ejemplo, preferencias e intereses del usuario.
- Desarrollo de mecanismos que apoyen el acceso a la información disponible de acuerdo con las características de los usuarios.
- Análisis y modelado de los factores que influyen en las decisiones del usuario cuando interactúa con la información disponible en la web.

En este trabajo nos centramos en este último enfoque, así que nos dimos a la tarea de analizar diferentes investigaciones que tratan de entender el comportamiento humano cuando navega en la web.

Román y otros [80] indican que el análisis del comportamiento del usuario en la web se basa en disciplinas cada vez más diversas como psicología, sociología, economía, lingüística, mercadotecnia y ciencias de la computación. También indican que uno de

los grandes retos para los investigadores de la interacción en la web es entender el comportamiento humano a partir del análisis de la gran cantidad de datos generados por la actividad de las personas en internet.

En este trabajo las diferentes teorías enfocadas en entender y caracterizar el comportamiento de los usuarios las hemos agrupado bajo el término de modelado de la navegación web. De acuerdo con la discusión presentada en este trabajo, cada uno de estos modelos se enfoca en sólo algunos aspectos del comportamiento del usuario, de aquí que para tener una visión más completa de nuestro objeto de estudio debemos considerar diferentes puntos de vista que se complementen unos con otros.

Particularmente los modelos cognitivos de la navegación web se apoyan en modelos matemáticos para tratar de estructurar e identificar el conocimiento que influye en las elecciones del usuario cuando navega en la web. Estos modelos buscan describir la manera en que un usuario analiza y reacciona ante el contenido de una página web, siempre teniendo en cuenta sus objetivos y su relación con los diferentes vínculos y elementos que componen una página web. Una consecuencia natural de este enfoque es la posibilidad de calcular la probabilidad de que se elija interactuar con alguno de esos componentes.

En la discusión presentada en este trabajo sobre algunos de los modelos cognitivos de la navegación web, se puede observar que cada uno de ellos toma como referencia un modelo base de representación de la información complementado por un modelo cognitivo para la resolución de problemas:

- SNIF-ACT. El modelo desarrollado por Pirolli y Fu [72] calcula la relevancia mutua de la información representada en los diferentes elementos de la interfaz y los objetivos del usuario, para ello hace uso de una medida teórica de la información denominada Pointwise Mutual Information (PMI) que toma como referencia la ocurrencias y coocurrencias de las palabras en Internet. La arquitectura cognitiva que usan es ACT-R de Anderson y otros [7].
- CoLiDeS. La propuesta de Kitajima et al. [42] calcula la relevancia de la información con respecto a los objetivos del usuario a partir de tres factores: similaridad semántica, frecuencia y emparejamiento literal, donde, la similitud semántica se calcula siguiendo en el análisis semántico latente (Latent Semantic Analysis, LSA; [46]). El modelo cognitivo de uso general que utiliza CoLiDeS es el modelo construcción-integración de Kintsch [41] para la comprensión de textos, planificación de acciones y resolución de problemas.
- MESA. Hasta el momento, el planteamiento de Miller y Remington [58] no indican cómo calcular la relevancia de la información de una página, en su modelo se tratan de describir y analizar diversas estrategias utilizadas por las personas durante la navegación web.
- CoLiDeS+. La propuesta de Juvina y Oostendorp [68] busca complementar el modelo CoLiDeS, por lo tanto toma como base la similaridad semántica haciendo uso de LSA pero extiende su análisis a la ruta que va siguiendo el usuario.



De manera general podemos decir que estos modelos se centran en describir el comportamiento del usuario cuando sus elecciones se basan en la evaluación entre los beneficios esperados y los costos para alcanzar la información que se requiere. Bajo este enfoque, la teoría de rastreo de la información [76] describe a la especie humana como “hambrienta” de información y a internet como una gran fuente de ella, de esta manera la navegación web se convierte en una forma útil para que el usuario satisfaga sus necesidades de información [72]. Esta teoría considera que cuando la gente busca información en la web, basa sus decisiones de navegación en la evaluación de las pistas del rastro de la información asociadas con los elementos de la interfaz.

Como se indicó en el capítulo 3, los diferentes modelos analizados en este trabajo no fueron desarrollados explícitamente siguiendo la teoría de rastreo de la información, pero su comportamiento es en esencia el mismo: se evalúan las diferentes ligas de una página y se elige seguir aquella que se espera que lo aproxime más a sus objetivos.

Si bien los modelos actuales se basan sólo en la evaluación de las ligas de una página, los diferentes autores indican que sus propuestas pueden ser extendidas para considerar otras características de las páginas web. Por tal motivo, podemos encontrar diversas investigaciones que tratan de complementar los diferentes modelos de la navegación web con otros aspectos (información gráfica [69], navegación previa [81], tipos de elementos interactivos disponibles para la navegación [79], entre otros).

Uno de los primeros resultados de este trabajo fue identificar la necesidad de tomar en cuenta la forma en que el usuario descubre los elementos de una página web, ya que ello determina de manera importante sus futuras interacciones [24]. Bajo este contexto, en este trabajo se planteó complementar el estudio de la navegación web a partir del análisis de la información del comportamiento del usuario desde una perspectiva diferente, el enfoque de la ingeniería semiótica de la interacción humano-computadora.

## 8.2. Metáfora de la comunicación para estudiar la IHC

Con el fin de obtener un mejor entendimiento de la interacción humano-computadora se recurre a diferentes áreas que tratan de dar sentido al comportamiento del usuario. El enfoque semiótico de la IHC se centra en los aspectos comunicativos de este fenómeno.

El enfoque semiótico se usa cada vez más para el análisis y diseño de sistemas interactivos [85], de forma más precisa, la ingeniería semiótica se usa como una herramienta para el análisis del uso de los sistemas interactivos [87] [86], por lo cual, nosotros adaptamos esta forma de observar la interacción humano-computadora a la interacción con la información disponible en la web.

De manera específica, como fue discutido en el capítulo 4, la ingeniería semiótica nos permite observar algunos indicios de la comprensión de la interfaz por parte del usuario en la interacción misma. La idea central es que, los diseñadores de software interactivo comunican su visión del usuario y su tarea a través de la interfaz de usuario. De acuerdo

con esta idea, los diseñadores deben comunicar las cualidades de su propuesta, los objetivos que el sistema permite alcanzar, así como los métodos y signos para realizarlos.

Debido a que el discurso que el diseñador propone está representado por medio de los signos de la interfaz (palabras, iconos, sonidos, y demás componentes interactivos), la interpretación del mensaje del diseñador se verá influenciada por los signos que se hayan elegido para la interfaz, así como la respuesta a cada acción del usuario.

Conforme a estas ideas, a lo largo de este trabajo consideramos que el usuario interactúa con el sistema y va interpretando el mensaje del diseñador. La respuesta a cada acción reforzará o modificará el entendimiento del usuario, quien gradualmente decodificará el mensaje del diseñador. Esta es el fenómeno que se observa y modela mediante nuestra propuesta.

### **8.3. Modelado de la navegación web a partir de evidencias del entendimiento del usuario**

La propuesta presentada en este trabajo tomó como punto de partida la noción de un proceso gradual de entendimiento del mensaje del diseñador (la interfaz) por parte del usuario, siguiendo esta idea se indagó el papel del entendimiento de la interfaz en las decisiones de navegación del usuario, dentro del marco de la teoría de rastreo de la información, es decir, se trató de analizar y modelar cómo los usuarios usan su entendimiento de la interfaz cuando buscan la información que satisfaga sus necesidades.

La hipótesis de este trabajo planteó que a partir del análisis de la interacción con los objetos interactivos (ligas, botones, menús, etc.) de una interfaz de usuario es posible encontrar evidencias del entendimiento general de la IU.

Los elementos centrales para poder llevar a cabo el análisis de la interacción del usuario en este trabajo fueron: el modelado computacional del mensaje del diseñador y la búsqueda de evidencias del entendimiento del usuario.

Considerando el diseño de aplicaciones para la web, el diseñador plantea una estructura de información concreta para el tipo de usuarios que busca interesar. Esta estructura jerárquica de información fue la que se utilizó para representar el mensaje del diseñador; una estructura como esta permite describir las relaciones entre el sitio y las páginas que lo conforman, entre una página y los artefactos interactivos que la componen. Esta estructura también permite la descripción de la tarea del usuario, ya que el diseñador especifica, desde su punto de vista, cuáles son los pasos que se deben de seguir para completar cada una de las posibles tareas.

Esta representación nos brinda la posibilidad de observar la interacción del usuario en términos de los artefactos interactivos y las posibles tareas que el sistema permite realizar. Gracias a ello, pudimos observar la manera en que cada usuario resuelve las tareas de acuerdo a su entendimiento de la interfaz hasta ese momento. Esta descripción del comportamiento del usuario posibilita la búsqueda de evidencias del entendimiento

del usuario en sus interacciones previas y nos da la oportunidad de construir un modelo probabilístico que lo describa. La primer propuesta de cómo identificar las evidencias del entendimiento fueron presentadas en [22].

En este trabajo se utilizó un modelo bayesiano basado en la estructura jerárquica de la información para describir el entendimiento del usuario, ya que dicho modelo nos permite manejar la incertidumbre asociada al entendimiento de la interfaz. Adicionalmente, para representar el entendimiento gradual de la interfaz se plantearon cuatro fases de descubrimiento para cada artefacto interactivo, completando con esto una red bayesiana capaz de actualizar los niveles de entendimiento de la interfaz conforme se usan los artefactos interactivos.

De esta manera, la observación de la interacción fue la base para construir un modelo cognitivo computacional del entendimiento del usuario. A continuación se incorporó esta propuesta al esquema planteado por la teoría del rastreo de la información, para poder estudiar el rol del entendimiento del usuario durante la navegación web. Se siguió la noción de un comportamiento basado en el análisis racional [8], donde se espera que el usuario siempre elige la acción de navegación más efectiva y útil de acuerdo a las pistas percibidas.

Nuestro modelo simula este tipo de comportamiento del usuario: cuando el usuario trata de alcanzar sus objetivos (de información), siempre elegirá la acción más efectiva y útil de acuerdo a su entendimiento de la interfaz hasta ese momento. La versión completa del modelo fue descrita en [23].

## 8.4. Observaciones generales

Para la evaluación del modelo propuesto se tomó como referencia el trabajo de Pirolli y otros [73], quienes plantean un método de evaluación para modelos cognitivos computacionales basado en la comparación de las predicciones del modelo computacional contra el comportamiento observado en un grupo de usuarios. Esta evaluación nos permitió realizar observaciones específicas para un usuario en el contexto de una tarea válida, y así comparar las predicciones del modelo contra un comportamiento real.

De acuerdo con los casos de estudio presentados en el capítulo 7, el modelo captura de manera adecuada el comportamiento del usuario, incluido el proceso de descubrimiento de los artefactos interactivos de la interfaz, lo cual nos ayudó a observar cómo esta representación de el comportamiento previo puede ser extrapolado hacia una nueva tarea.

En nuestra evaluación se observó cómo el entendimiento de la interfaz de un sistema, ya sea correcto o incorrecto, define la forma en que cada usuario intenta resolver una tarea.

En la comparación de las acciones que el modelo predice contra las que el usuario realiza podemos notar la capacidad de nuestro modelo cognitivo computacional para abstraer los patrones de comportamiento del usuario que interpretamos como evidencias del entendimiento de la interfaz.

La evaluación nos deja ver la capacidad del modelo para representar computacional-

mente este conocimiento y el proceso de toma de decisiones durante la navegación web, permitiéndonos predecir la forma en que un usuario intentará resolver una tarea específica.

Adicionalmente a la predicción de la interacción del usuario, el modelo basado en evidencias del entendimiento del usuario también nos permite generar una explicación del comportamiento del usuario en una situación real. Con el análisis del comportamiento del usuario descritos en el capítulo 6, se ilustra la utilidad de este modelo cognitivo como una herramienta de análisis del diseño de una interfaz de usuario. Este tipo de análisis nos permite identificar problemas de comunicabilidad de la interfaz, que pueden ir desde detectar aquellos elementos de la interfaz que no están siendo totalmente comprendidos, hasta reconocer aquellas tareas que los usuarios no pueden realizar.

Estos resultados aportan evidencia favorable a nuestra hipótesis: el comportamiento del usuario (su interacción con los artefactos interactivos de la interfaz) aporta evidencias sobre el entendimiento de la interfaz de usuario, y por lo tanto, es viable construir un modelo cognitivo computacional del entendimiento de una interfaz web basado en la observación del comportamiento del usuario.

Finalmente, cabe señalar que el modelo propuesto en este trabajo incorpora la metáfora de la comunicación al proceso de descubrimiento y entendimiento de una interfaz y abre con ello la posibilidad de explorar el fenómeno desde una otra perspectiva sin contraponerse a los modelos actuales. De acuerdo con lo presentado en este trabajo, se analizó cómo este conocimiento complementa al rastro de la información para la toma de decisiones durante la navegación web.

## 8.5. Trabajo a futuro

El modelo presentado en este trabajo es una primera aproximación del proceso de búsqueda de evidencias y modelado del entendimiento del usuario. En este trabajo nos enfocamos en identificar la viabilidad de construir un modelo cognitivo computacional del entendimiento del usuario, para ello se analizaron un conjunto de tareas específicas para dos aplicaciones web, lo cual implica que nuestras observaciones sobre el comportamiento del usuario son aplicables sólo a este tipo de tareas en la web. Pirolli [75] indica que en general la navegación web es una actividad poco estructurada y que no todos los usuarios utilizan estrategias de navegación siguiendo el análisis racional, así que nuestro modelo no puede generalizarse a cualquier tipo de problema y usuario en la web.

Una de las aplicaciones inmediatas de nuestro modelo computacional es el desarrollo de una herramienta de análisis del diseño de una interfaz de usuario, más específicamente, un análisis de la comunicabilidad de la interfaz. En el capítulo 7, se ilustró este proceso de análisis y se obtuvieron observaciones específicas sobre problemas de la interfaz. De Souza [87] [86] describe como se puede evaluar la comunicabilidad de una interfaz, nuestro modelo de seguimiento y representación del comportamiento del usuario puede ser utilizado para realizar una evaluación automática de la comunicabilidad de la interfaz.

Una posible aplicación de nuestro modelo computacional se describe en el apéndice D. En dicha sección se presenta la posibilidad de usar el modelo del entendimiento del usuario para apoyar la interacción del usuario a partir de mensajes de ayuda que permitan que el usuario pueda complementar su entendimiento de la interfaz y por tanto realizar las tareas que requiere.



## Apéndice A

# Análisis del comportamiento del usuario a través de la minería del uso de la web

### A.1. Comportamiento del usuario

Bajo la filosofía del análisis de la minería de uso de la web, para el estudio del uso de un sistema web se analizan los datos que se obtienen de las bitácoras de acceso a un servidor web. La bitácora de acceso almacena todas las peticiones de los recursos del servidor, para nuestro estudio sólo serán de interés las peticiones relacionadas con los artefactos interactivos de las páginas de un sistema web. Por lo tanto, en nuestro estudio se ignoraron todas las peticiones de imágenes y scripts.

Las bitácoras se procesaron para crear una representación apropiada del comportamiento de cada usuario correspondiente a su interacción del sistema. La representación del usuario dependerá de la información que queremos observar.

En nuestro caso nos interesa estudiar cuáles son las acciones que el usuario realiza y a partir de ellas describir el comportamiento de los usuarios de la aplicación web. Por lo tanto representamos a cada visitante a partir de los siguientes atributos:

- Dirección IP del usuario,
- Artefacto utilizado
- Fecha

Consideremos el caso de una aplicación web descrita a continuación:

*Consideramos un proceso de registro de candidatos a través de un sitio web: el responsable del registro captura la información mínima para iniciar el proceso*

Artefacto interactivo	Código
/	a
confirmation2.jsp	b
confirmation.jsp	c
confirmationTemporal.jsp	d
datosActividades.jsp	e
datosAdicionales.jsp	f
datosEstudiante.jsp	g
datosEstudios.jsp	h
datosPersonales.jsp	i
estudiantesRegistrados.jsp	j
login.html	k
login.jsp?userType=0	l
login.jsp?userType=1	m
loginservlet	n
message.jsp?	o
message.jsp?message=0	p
message.jsp?message=1	q
message.jsp?message=2	r
message.jsp?message=3	s
message.jsp?message=5	t
printVersion.jsp?message=1	u
printVersion.jsp?message=3	v
registroestudiantesservlet	w
students_manage.jsp	x

Tabla A.1: Acciones y código correspondiente

*de registro de un candidato y después cada candidato deberá continuar con este proceso, capturando su información personal, trayectoria académica, etc.*

Las posibles acciones de dicha aplicación son mostradas en la primera columna de la tabla A.1. Para manejar las acciones de manera más sencilla utilizamos la codificación indicada en la segunda columna de la misma tabla.

Un problema importante en la representación del comportamiento de un usuario es la separación de sesiones. Algunas propuestas utilizan el tiempo como elemento clave para diferenciar sesiones, por ejemplo, se define que una sesión cómo todas las acciones realizadas en 1 día. Otras propuestas utilizan el número de acciones para diferenciar sesiones, es decir, una sesión está definida por un máximo de 20 clics.

En esta aplicación, sabemos de antemano que todos los usuarios deben ingresar al sistema mediante las acciones a, k, l o m, a partir de la identificación de estas acciones sabemos cuándo un usuario inicia una nueva sesión y de esta manera podemos reconstruir





- Acción- $i$ ésima realizada, (donde  $i \in [1,84]$ )

La figura A.1 muestra ejemplos de los vectores de comportamiento del usuario.

Esta representación nos permite observar cuales son las acciones realizadas en cada instante de la interacción y nos puede brindar información acerca de cuál será la siguiente acción a realizar.

Host	Fecha	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	...	84	
189.144.19.98	2007-03-11 12:05:25	a	n	m																											
189.130.18.39	2007-03-13 09:02:51	a	n	g	i	h	e	f	b	v	q																				
148.206.32.85	2007-03-13 13:26:02	n	g	n	g	i	i	g	i	h	e	f	d	v	q																
132.248.222.56	2007-03-13 16:33:03	n	w	j	n	w	j	n	w	j	n	w	j	n	w	j	n	w	j	n	w	j	n	w	j	n	w	j	n	w	j

Figura A.1: Vectores de comportamiento del usuario

## A.2. Análisis del comportamiento del usuario de un sistema web

El objetivo de este trabajo es caracterizar el comportamiento del usuario, para esto se analizó la forma en que se usa un sistema web. A partir de la información almacenada en las bitácoras se buscaron patrones de comportamiento mediante la técnica de agrupamiento.

Un concepto fundamental para el agrupamiento es la similitud entre ejemplares. Una manera de formalizar el concepto de similitud es a través de métricas o medidas de distancia. Bajo esta idea, si se quiere saber la similitud entre dos ejemplares o individuos, es necesario elegir una función de distancia y calcular con ella la distancia entre los dos ejemplares. Las medidas de distancia más tradicionales son aquellas que se aplican sobre dos ejemplares tales que todos los atributos son numéricos. Para el caso de vectores, se pueden definir las distancias entre dos vectores  $x$  e  $y$  de dimensión  $n$  en las siguientes formas:

- Distancia Euclidiana. En la distancia clásica, que representa la longitud de la recta que une dos puntos en el espacio euclidiano:

$$d(x, y) = \sqrt{(\sum (x_i - y_i)^2)}$$

- Distancia de Manhattan. También conocida como distancia por cuerdas, hace referencia a recorrer un camino zigzageando:

$$d(x, y) = \sum |x_i - y_i|$$

- Distancia de Chebychev. Calcula la discrepancia más grande en alguna de las dimensiones:

$$d(x, y) = \max(|x_i - y_i|)$$

- Distancia del coseno. Considerando a cada ejemplar como un vector, la distancia sería el coseno del ángulo que se forma entre ellos:

$$\cos(x, y) = \sum \frac{x_i - y_i}{\sqrt{x_i^2} \cdot \sqrt{y_i^2}}$$

- Distancia de Mahalanobis. Las distancias anteriores asumen que los atributos son independientes, es decir, consideran cada atributo como una dimensión ortogonal a las demás. La distancia de Mahalanobis se define utilizando la matriz de covarianza  $\Sigma$ :

$$d(x, y) = \sqrt{(x - y)^T \Sigma^{-1} (x - y)}$$

La distancia de Mahalanobis difiere de la distancia Euclidiana cuando existe correlación entre las variables. Si la matriz de covarianza es la identidad, la distancia de Mahalanobis es equivalente a la distancia Euclidiana. Si la matriz de covarianza es diagonal, la distancia calculada de esta forma es denominada la distancia Euclidiana normalizada.

Para el caso de valores no numéricos también se ha definido el concepto de distancia. Por ejemplo, para atributos nominales se suele utilizar la función delta, es decir,

$$\delta(a, b) = \begin{cases} 0 & \text{si y sólo si } a = b, \\ 1 & \text{de lo contrario.} \end{cases}$$

Con esta función podemos definir la distancia de la siguiente manera:

$$d(x, y) = \omega \sum \delta(x_i - y_i)$$

donde  $\omega$  es un factor de reducción.

Como se mencionó en la sección anterior, en las bitácoras del sistema se identificaron 5183 sesiones de usuario, eliminando las sesiones más largas trabajamos únicamente con 5180 sesiones.

Para realizar la tarea de agrupamiento utilizamos el software Weka.

### A.2.1. Análisis del comportamiento general

Observando los datos de las sesiones observamos que hay un número importante de usuarios que utilizan de manera recurrente la aplicación web, incluso varias veces en el mismo día. Pero para los objetivos de este trabajo, la información más importante serán las secuencias de acciones realizadas, por lo tanto los clústeres se buscarán sólo considerando los datos de la secuencia de navegación (84 atributos del vector original). Considerando los 84 atributos de las posibles acciones observamos que todos los atributos son nominales, por lo tanto Weka sólo da la oportunidad de usar la distancia Euclidiana y Manhattan.

Uno de los algoritmos más populares para el agrupamiento es K-means. Este método parte de un número determinado de clusters y un conjunto de ejemplos a agrupar sin etiquetar.

Un primer paso es estimar el número de posibles clústeres en esta información. Del análisis realizado por el equipo de desarrollo del caso de estudio se sabe de los siguientes tipos de usuario:

- Usuario “responsable” que prueba el sistema y registra un sólo candidato y termina su sesión
- Usuario “responsable” que usa el sistema con confianza y registra diversos candidato por sesión.

- Usuario “candidato” que entra y realiza todo el proceso de registro en una sola sesión.
- Usuario “candidato” que entra y realiza el proceso en diversas sesiones.

Adicionalmente el equipo de desarrollo observó un problema recurrente con la aplicación al momento de ingreso de los usuario, un número importante de ellos reportó tener problemas al iniciar su sesión, pues escribían de manera incorrecta su contraseña, eso se debía a que en el correo electrónico con la información de nombre de usuario y contraseña no se distinguía de manera clara entre números y algunas letras minúsculas. Otra secuencia de acciones común es el direccionamiento automático de la página de finalización de sesión a la página de inicio después de un tiempo largo de inactividad.

Esta información nos sugiere la existencia de al menos 6 clústeres en los datos de uso de la aplicación.

Para hacer diversas pruebas al modelo tomaremos una muestra aleatoria del 25% del total de las sesiones identificadas. La herramienta Weka ofrece diversos algoritmos para el agrupamiento. Para este trabajo hemos considerado adecuado el uso del algoritmo SimpleKMeans ya que permite el manejo de atributos nominales. El algoritmo será iniciado con los siguientes valores:

- Tamaño de la muestra: 1295
- Algoritmo: SimpleKMeans
- Clústeres: 10
- Semilla: 51

Al finalizar el algoritmo indica los centroides de los 10 clústeres mostrados en la figura A.2.

Centroide	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	...	84		
1	k	n	x	j	x	j	x	j																										
2	m	n	g	i	h	e	i	h	h	e	f	b	g	i	h	e	b	g	i	h	e	h	e	f	w									
3	m	n	m																															
4	a	n	g	i	h	e	g	i	h	e	f	b	g	i	g	i	h	f																
5	m	a																																
6	a	n	g	i	d	g	i	h	e	f	h	e	f																					
7	a	n	g	i	h	e	f	b																										
8	k	n	x	c	w	q																												
9	a	n	g	i	i	h	e	f	b	g	i	h	e	f	b	b	g	i	f	g	e	f	b	f	f	i	h	e	f	b				
10	k	n	x	j	k																													

Figura A.2: Centroides obtenidos con SimpleKMeans

Centroide	No. de ejemplares	Porcentaje de ejemplares
1	53	4 %
2	4	0 %
3	518	40 %
4	21	2 %
5	398	31 %
6	42	3 %
7	109	8 %
8	58	4 %
9	17	1 %
10	75	6 %

Tabla A.4: Relación de Centroides y ejemplares

La tabla A.4 indica los ejemplares relacionados con cada cluster al finalizar el algoritmo.

En estos clústeres podemos observar muchos de los comportamientos esperados. En el cluster 3 se representa la secuencia asociada a un acceso denegado: página de ingreso (m), autenticación denegado (n) y página de ingreso (m). El clúster 5 indica la reinicialización de una sesión por inactividad: página de ingreso (m) y redireccionamiento a la página de inicio (a).

Se realizaron diferentes pruebas sobre la muestra, observando que al considerar un número mayor a 8 clústeres se obtenían clúster de comportamiento similar, como es el caso del clúster de acceso denegado a partir de las diferentes páginas de acceso, ejemplos de estas secuencias son “mm” y “ln”. Mientras que con un número menor de 8 clústeres se observaron clústeres que agrupan ejemplares con características diferentes, en el caso del clúster de acceso denegado (anm) se observó muchos elementos que representaban un registro completo del usuario (angihefb), es decir, se incluían en el mismo clúster los ejemplares “anm” y “angihefb”.

De esta manera se determinó que el número de clústeres que consideramos fueron 8. Así analizaremos la muestra completa y el algoritmo será iniciado con los siguientes valores:

- Tamaño de la muestra: 5180
- Algoritmo: SimpleKMeans
- Clústeres: 8
- Semilla: 51

Los centroides de los 8 clústeres se muestran en la tabla A.5.



Centroide	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	...	84	Ejemplares	Porcentaje
1	m	n	m													2170	42 %
2	a	n	g	i	h	e	f	b	g	i	h	e				438	8 %
3	a	n	s	v	a											235	5 %
4	a	a														1101	21 %
5	a	n	g	i	i	i										239	5 %
6	q	x	c	w	q											432	8 %
7	k	n	x	j	w	q										538	10 %
8	n	g	i	h	e	f	b	g	i	h	e					27	1 %

Tabla A.5: Centroides para 8 clústeres

El centroide 1 está asociado a la acción de acceso denegado. El usuario parte de la página de ingreso, escribe su nombre y contraseña, el sistema autentifica al usuario e indica que no es un usuario valido y regresa nuevamente a la página de ingreso.

El centroide 2 está asociado al uso de la aplicación por parte del usuario-candidato que se mueve con fluidez por el sistema.

El centroide 3 está asociado al uso de la aplicación por parte del usuario-candidato una vez que ha concluido el registro, en este caso el usuario sólo puede ver su comprobante e imprimirlo.

El centroide 4 está asociado a la reinicialización de sesión por inactividad, estando en alguna de las páginas de ingreso al no detectarse actividad el sistema recarga la página para que el usuario vuelva a entrar.

El centroide 5 muestra el uso de la aplicación por parte del usuario-candidato, que no conoce bien el sistema y una vez ingresado al sistema realiza acciones erráticas, como solicitar la página de inicio en diversas ocasiones.

El centroide 6 se refiere al uso de la aplicación por un usuario-responsable quién no termina su sesión al finalizar sus actividades y después (probablemente en una fecha posterior) continua con sus tareas sin iniciar sesión continuando desde la última página visitada. Adicionalmente se observa que no utiliza al sistema a toda su capacidad, pues sólo usa la funcionalidad básica de registro.

El centroide 7 está asociado con el uso de la aplicación por parte de un usuario-responsable quién conoce bien las posibilidades que le da el sistema para realizar sus actividades.

El centroide 8 representa al usuario-candidato que busca realizar sus actividades de forma más rápida y por tanto almacena en sus favoritos la página de ingreso al sistema.

La figura A.3 muestra cómo fueron clasificados todos los datos de la muestra en los clúster encontrados.

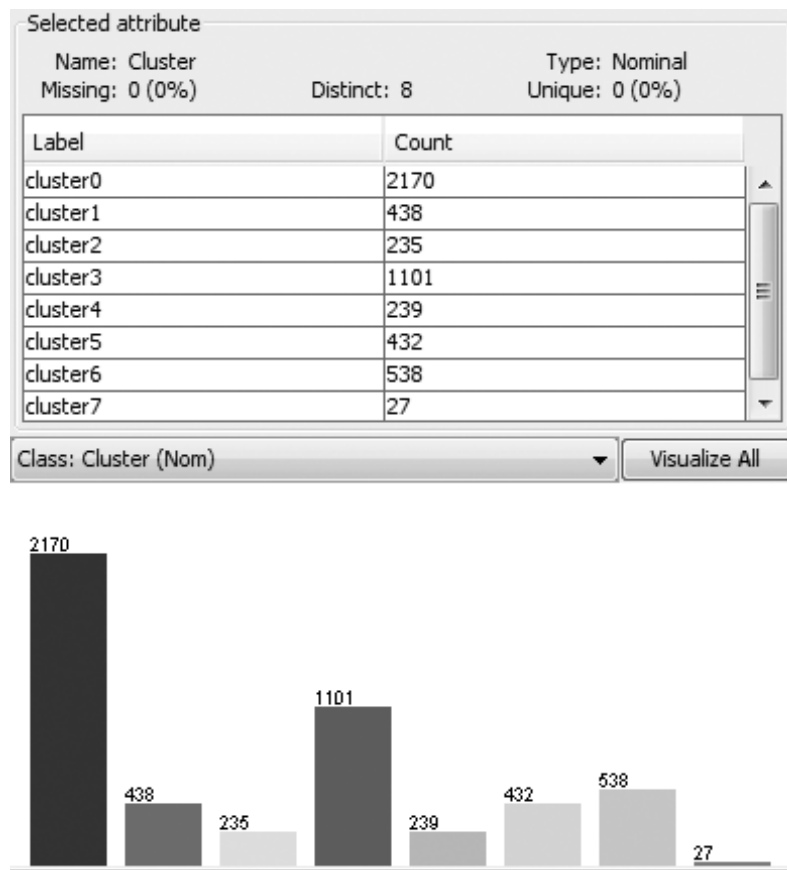


Figura A.3: Ejemplares agrupados por cluster

### A.2.2. Uso de artefactos para resolver una tarea

El análisis descrito en la sección anterior nos permite determinar el comportamiento general de los usuarios del sistema, pero también podemos hacer un análisis más específico sobre cómo los usuarios resuelven una tarea. Para analizar cómo el usuario candidato realiza la tarea para completar su registro, debemos elegir sólo las secuencias de acciones que están asociadas a esta tarea, esto nos da un total de 2512 sesiones para analizar.

Los centroides generados en una ejecución deben ser analizados por el diseñador del sitio para interpretar y determinar la utilidad de los grupos identificados, un ejemplo de la descripción de los centroides asociados a una tarea.

## A.3. Clasificación del comportamiento del usuario en un sistema web

En Weka los algoritmos de clasificación requieren que las variables sean discretas y finitas. En nuestro caso de estudio vemos que se cumplen estas condiciones así que podremos utilizar los datos descritos en la sección anterior sin que sea necesario aplicar algún preprocesamiento.

Es importante mencionar que el clasificador descrito en esta sección no es la red bayesiana que describe el entendimiento del usuario, este clasificador se utiliza para estimar los valores de dicha red de acuerdo con la descripción de la sección 5.2.5.

El agrupamiento obtenido en la etapa anterior será utilizado para el entrenamiento de un clasificador bayesiano. La herramienta Weka permite guardar la información de los clústeres obtenidos en la etapa anterior, por lo tanto tendremos una muestra de 5180 ejemplares clasificados en 8 clústeres. La herramienta no puede manejar esa cantidad de información para el entrenamiento de un clasificador. Por tal motivo generaremos 4 subconjuntos que serán usados para entrenar y probar el clasificador.

El aprendizaje de una red bayesiana puede ser visto en dos etapas: primero el aprendizaje de la estructura de la red y después el aprendizaje de las tablas de probabilidad.

Luego de probar con diferentes algoritmos para el aprendizaje de la estructura de la red, se determinó que se usaría Hill Climbing quién mostró un menor porcentaje de error en la clasificación. Para el estimado de las tablas de probabilidad utilizaremos un estimador sencillo por el gran número de atributos y ejemplares de la nuestro caso de estudio.

La ejecución del entrenamiento muestra los siguientes resultados:

- Número de ejemplares totales: 1295
- Ejemplares correctamente clasificados: 1246 (96.2162 %)
- Ejemplares incorrectamente clasificados: 49 (3.7838 %)

- Error absoluto: 5.7004 %

Evaluando el modelo con otra de las muestras obtenemos lo siguiente:

- Número de ejemplares totales: 1295
- Ejemplares correctamente clasificados: 1208 (93.2819 %)
- Ejemplares incorrectamente clasificados: 87 (6.7181 %)

Finalmente haciendo una validación cruzada del modelo construido obtenemos los siguientes resultados:

- Número de ejemplares totales: 1295
- Ejemplares correctamente clasificados: 1203 (92.8958 %)
- Ejemplares incorrectamente clasificados: 92 (7.1042 %)
- Error absoluto: 9.4391 %

## Apéndice B

# Redes Bayesianas

### B.1. Presentación intuitiva

Heckerman [33] describe a las redes bayesianas como una representación del conocimiento que nos permite combinar conocimiento experto del dominio con información estadística. De forma intuitiva, podemos decir que en una red bayesiana cada nodo corresponde a una variable que representa una entidad del problema que nos interesa y los arcos que unen los nodos indican relaciones de influencia causal [57]. En este contexto se hablará indistintamente de nodos y variables, y los denotaremos con letras mayúsculas, como  $X$ . Utilizaremos la misma letra en minúscula,  $x$ , para referirnos a un valor cualquiera de la variable  $X$  [25].

Millán [57] realiza una adaptación de la presentación intuitiva de Díez [25] para la descripción del funcionamiento de una red bayesiana. En este trabajo se modifica esta adaptación de Millán de acuerdo al contexto de la navegación web.

La red bayesiana no trivial más simple que podemos considerar consta de dos variables por ejemplo  $T$  y  $L_1$ , y un arco desde la primera hasta la segunda (figura B.1)

Supongamos que  $T$  representa la capacidad de un usuario para resolver cierta tarea en una interfaz web y  $L_1$  representa su capacidad para reconocer la funcionalidad de la liga  $L_1$ , es decir utilizar de forma segura la liga  $L_1$  para realizar la tarea. Entonces, que el

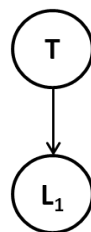


Figura B.1: Red bayesiana simple de 2 variables

usuario pueda resolver la tarea  $T$  tiene una influencia causal en que sea capaz de identificar a la liga  $L_1$  como parte de la resolución de la tarea, lo cual se expresa mediante un arco dirigido.

Si  $T$  es una variable binaria,  $+t$  denota la presencia de aquello a lo que representa y  $\neg t$  su ausencia. En nuestro ejemplo,  $+t$  significará que el usuario puede resolver la tarea en una interfaz y  $\neg t$  que el usuario no puede resolver la tarea;  $+l_1$  significará que el usuario reconoce la funcionalidad de la liga  $L_1$  y  $\neg l_1$  significará que el usuario no sabe cuál es la funcionalidad de una liga  $L_1$ .

La información cuantitativa de una red bayesiana se deriva de la probabilidad a priori de los nodos que no tienen padres y la probabilidad condicionada de los nodos con padres.

Para nuestro ejemplo, los datos que asumimos que se conocen son  $P(t)$  y  $P(l_1|t)$ , donde,

- $P(+t) = 0.7$
- $P(+l_1|+t) = 0.9$  y  $P(+l_1|\neg t) = 0.05$

El significado de estos datos es el siguiente:

- $P(+t) = 0.7$  indica que el 70 % de los usuarios observados pueden resolver la tarea  $T$
- $P(+l_1|+t) = 0.9$  indica que el 90 % de los usuarios que pueden resolver la tarea  $T$  saben que la liga  $L_1$  es parte de la solución de la tarea  $T$ . Esto también nos indica que algunos usuarios que resolvieron la tarea  $T$  no conocen la funcionalidad de la liga  $L_1$ , pudieron haberla utilizado sin haber entendido su funcionalidad dentro de la tarea (esto puede ser concluido al pedirle que realice nuevamente la tarea, pero no consigue hacerlo de la misma forma que en el caso anterior o bien prueba varias opciones antes de lograrlo).
- $P(+l_1|\neg t) = 0.05$  indica que el 5 % de los usuarios observados que no pueden resolver la tarea  $T$  han utilizado la liga  $L_1$ , esto puede observarse cuando los usuarios usan una liga pero inmediatamente cancelan su acción regresando a la página anterior o la página de inicio de su actividad.

Conociendo estos datos se puede calcular lo siguiente:

- La probabilidad a priori de  $L$

$$\begin{aligned} P(+l_1) &= P(+l_1|+t) \cdot P(+t) + P(+l_1|\neg t) \cdot P(\neg t) \\ &= 0.9 \times 0.7 + 0.05 \times 0.3 = 0.63 + 0.015 = 0.645 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(\neg l_1) &= P(\neg l_1|+t) \cdot P(+t) + P(\neg l_1|\neg t) \cdot P(\neg t) \\ &= 0.1 \times 0.7 + 0.95 \times 0.3 = 0.07 + 0.285 = 0.355 \end{aligned}$$

- Las probabilidades a posteriori dada una evidencia observada  $e$ ,

$$P^*(l_1) = P(l_1|e)$$

Supongamos que se observa que un usuario usa la liga  $L_1$  (la evidencia observada) ¿Qué probabilidad hay de que pueda realizar la tarea  $T$ ?, si luego de utilizar la liga todos los usuarios siempre realizaran la tarea  $T$ , la probabilidad sería 1, pero como esto no es así, tenemos que calcular  $P^*(c) = P(c|+l_1)$ . Utilizando el teorema de Bayes, sabemos que:

$$P^*(+t) = P(+t|+l_1) = \frac{P(+t) \cdot P(+l_1|+t)}{P(+l_1)} = \frac{0.7 \times 0.9}{0.645} = 0.977$$

De la misma forma podemos calcular:

$$P^*(\neg t) = P(\neg t|+l_1) = \frac{P(\neg t) \cdot P(+l_1|\neg t)}{P(+l_1)} = \frac{0.3 \times 0.05}{0.645} = 0.023$$

Para este ejemplo se usa la expresión general del teorema de Bayes:

$$P^*(t) = P(t|l_1) = \frac{P(t) \cdot P(l_1|t)}{P(l)}$$

que puede ser reescrita como

$$P^*(t) = \alpha \cdot P(t) \cdot \lambda_l(t)$$

donde  $\alpha = [P(l_1)]^{-1}$  y  $\lambda_l(t) = P(l_1|t)$  y se observa que  $\alpha$  no depende de  $t$ .

Si analizamos que pasa cuando se usa la liga  $L_1$  :

$$\lambda_l(+t) = P(+l_1|+t) = 0.9$$

$$\lambda_l(\neg t) = P(+l_1|\neg t) = 0.05$$

podemos observar que es más probable que se use la liga cuando el usuario es capaz de realizar la tarea que cuando no, entonces

$$P^*(+t) = \alpha \times 0.7 \times 0.9 = 0.63\alpha$$

$$P^*(\neg t) = \alpha \times 0.3 \times 0.05 = 0.015\alpha$$

recordando que

$$P(+t) + P(\neg t) = 1$$

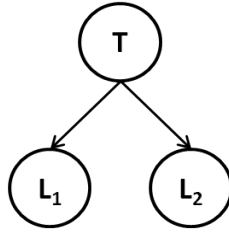


Figura B.2: Red bayesiana de 3 variables

entonces

$$\alpha = [0.63 + 0.015]^{-1} = [0.645]^{-1}$$

obteniendo nuevamente

$$P^*(+t) = 0.977$$

$$P^*(-t) = 0.023$$

de lo cual se puede observar que que la probabilidad a posteriori de la variable  $T$  depende fundamentalmente de la probabilidad a priori de  $T$  y de la probabilidad condicionada de  $L_1$  dado  $T$ , y  $\alpha$  juega el papel de una constante de normalización.

Si ahora suponemos que para completar la tarea es necesario utilizar otra liga ( $L_2$ ) de la interfaz web. La red bayesiana debe de modificarse como se muestra en la figura B.2.

Con la siguiente información

- $P(+t) = 0.7$
- $P(+l_1|+t) = 0.9$  y  $P(+l_1|\neg t) = 0.05$
- $P(+l_2|+t) = 0.85$  y  $P(+l_2|\neg t) = 0.12$

De forma similar que en el caso de  $L_1$ , luego de que el usuario utilizó la liga  $L_2$ , podemos calcular la probabilidad a posteriori de que pueda realizar la tarea  $T$  dado que uso la liga  $L_2$

$$P^*(+t) = P(+t|l_2) = \alpha \times 0.7 \times 0.85 = 0.595\alpha = 0.943$$

$$P^*(-t) = P(-t|l_2) = \alpha \times 0.3 \times 0.12 = 0.036\alpha = 0.057$$

También podemos analizar qué pasa cuando tenemos más evidencia sobre la actividad del usuario, si el usuario conoce la funcionalidad de la liga  $L_1$  y  $L_2$ , ¿cuál es la probabilidad de que pueda realizar la tarea  $T$ ?, si se intenta usar el teorema de Bayes, tenemos lo siguiente:



$$P^*(t) = P(t|l_1, l_2) = \frac{P(t) \cdot P(l_1, l_2|t)}{P(l_1, l_2)}$$

en donde observamos que debemos conocer  $P(l_1, l_2|t)$  y  $P(l_1, l_2)$ .

Para calcular estos valores a partir de la información disponible es necesario introducir la hipótesis de independencia condicional. Para el caso de nuestro ejemplo podemos observar que la probabilidad de que se entienda la funcionalidad la liga  $L_2$  no depende de que se entienda la liga  $L_1$ , ya que el usuario deberá reconocer la funcionalidad de cada una de forma independiente conforme vaya realizando la tarea que le interesa. Esta afirmación se expresa como sigue:

$$P(l_2|+t, l_1) = P(l_2|+t)$$

de donde

$$P(l_1, l_2|+t) = P(l_1|+t) \cdot P(l_2|+t)$$

De forma equivalente para  $\neg t$  tenemos

$$P(l_1, l_2|\neg t) = P(l_1|\neg t) \cdot P(l_2|\neg t)$$

Por lo que obtenemos una independencia condicional expresada de la forma

$$P(l_1, l_2|t) = P(l_1|t) \cdot P(l_2|t)$$

Lo cual puede ser escrito de la manera siguiente

$$\lambda(t) \equiv P(l_1, l_2|t)$$

obteniendo

$$\lambda(t) = \lambda_{L_1}(t) \cdot \lambda_{L_2}(t)$$

la cual nos permite calcular la probabilidad a posteriori utilizando la ecuación

$$P^*(t) = \alpha \cdot P(t) \cdot \lambda(t)$$

Así para nuestro ejemplo estamos considerando que la evidencia observada es:

$$e = \{+l_1, +l_2\}$$

entonces

$$\lambda(+t) = \lambda_{L_1}(+t) \cdot \lambda_{L_2}(+t) = 0.9 \times 0.85 = 0.765$$

$$\lambda(\neg t) = \lambda_{L_1}(\neg t) \cdot \lambda_{L_2}(\neg t) = 0.05 \times 0.12 = 0.006$$

por lo tanto

$$P^*(+t) = \alpha \cdot P(+t) \cdot \lambda(+t) = \alpha \times 0.7 \times 0.765 = 0.5355\alpha = 0.9993$$

$$P^*(-t) = \alpha \cdot P(-t) \cdot \lambda(-t) = \alpha \times 0.3 \times 0.006 = 0.0018\alpha = 0.0033$$

lo que confirma que teniendo dos evidencias a favor de que el usuario pueda realizar la tarea, la probabilidad resultante es mayor que la correspondiente a cada una de ellas por separado.

De la misma forma podríamos calcular la probabilidad a posteriori cuando tengamos evidencia a favor de una liga y evidencia en contra de la otra.

Ahora bien, si suponemos que el usuario ya conoce la funcionalidad de la liga  $L_1$ , si aún no sabemos con certeza si ya conoce la funcionalidad de la liga  $L_2$  ¿qué probabilidad hay de que conozca la funcionalidad de la liga  $L_2$ ?, es decir ¿cuál es el valor de  $P(l_2|+l_1)$ .

La teoría de la probabilidad nos dice que:

$$P^*(l_2) = P(l_2|l_1) = \sum_t P(l_2|t, +l_1) \cdot P(t|+l_1) = \sum_t P(l_2|t, +l_1) \cdot \frac{P(t, +l_1)}{P(+l_1)}$$

y por la independencia condicional de  $l_1$  y  $l_2$  tenemos

$$P^*(l_2) = \sum_t P(l_2|t) \cdot \frac{P(t, +l_1)}{P(+l_1)} = \sum_t P(l_2|t) \cdot \frac{P(t) \cdot P(+l_1|t)}{P(+l_1)}$$

y definimos

$$\begin{aligned} \pi_{Y_2}(t) &\equiv P(t) \cdot P(+l_1|t) \\ \alpha &\equiv [P(+l_1)]^{-1} \end{aligned}$$

podemos reescribir la ecuación anterior como

$$P^*(l_2) = \alpha \sum_t P(l_2|t) \cdot \pi_{Y_2}(t)$$

Sustituyendo los valores numéricos, tenemos para la evidencia  $\{+l_1\}$

$$\pi_{Y_2}(+t) = P(+t) \cdot P(+l_1|+t) = 0.7 \times 0.9 = 0.63$$

$$\pi_{Y_2}(-t) = P(-t) \cdot P(+l_1|-t) = 0.3 \times 0.05 = 0.015$$

y finalmente

$$P^*(l_2) = \alpha(0.85 \times 0.63 + 0.12 \times 0.015) = 0.5373\alpha = 0.5373/0.5505 = 0.976$$

$$P^*(l_2) = \alpha(0.15 \times 0.63 + 0.88 \times 0.015) = 0.0132\alpha = 0.0132/0.5505 = 0.024$$

Comparando las expresiones utilizadas para calcular la probabilidad a priori  $P(l_1)$  y la a posteriori  $P^*(l_1)$ , observamos que para la primera utilizamos  $P(t)$  y para la segunda se utiliza  $\pi_{Y_2}(t)$ , que representa la probabilidad de  $t$  tras considerar la evidencia relativa a  $t$  diferente de  $L_2$ .

De acuerdo con este análisis se observa cómo la información que aporta el nodo  $L_1$  modifica la probabilidad de  $T$ , y, en consecuencia, también la de  $L_2$ . De acuerdo con Diez [25] “el carácter simultáneamente ascendente y descendente del mecanismo de propagación es lo que nos permite utilizar la red tanto para realizar inferencias abductivas (cuál es la combinación de valores de las variables que mejor explica la evidencia disponible) como predictivas (cuál es la probabilidad de obtener cierto resultado en el futuro). Un mismo nodo puede ser tanto fuente de información como objeto de predicción, dependiendo de cuáles sean los hallazgos disponibles y el objeto del proceso de inferencias”.

## B.2. Definición de las redes bayesianas

Para poder definir formalmente una red bayesiana es necesario considerar algunas definiciones de la teoría de gráficas [64].

Una **gráfica dirigida** es un par  $(V, E)$ , donde  $V$  es un conjunto finito, no vacío cuyos elementos son llamados **nodos** (o vértices), y  $E$  es un conjunto de pares ordenados de elementos distintos de  $V$ . Los elementos de  $E$  son llamados **aristas** dirigidas, si  $(X, Y) \in E$  diremos que existe una arista de  $X$  a  $Y$ .

Un **camino** en una gráfica dirigida es una secuencia de nodos  $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  tal que  $(X_{i-1}, X_i) \in E$  para  $2 \leq i \leq n$ . Un **cadena** en una gráfica dirigida es una secuencia de nodos  $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  tal que  $(X_{i-1}, X_i) \in E$  o  $(X_i, X_{i-1}) \in E$  para  $1 \leq i \leq n$ . Un **ciclo** en una gráfica dirigida es un camino de un nodo hacia sí mismo. Una gráfica dirigida  $\mathcal{G}$  es llamada **gráfica dirigida acíclica** si no contiene ciclos.

Dada una gráfica  $\mathcal{G} = (V, E)$  y nodos  $X$  y  $Y$  en  $V$ ,  $Y$  es llamado un **padre** de  $X$  si hay una arista de  $Y$  a  $X$ ,  $X$  es llamado un **descendiente** de  $Y$  y  $Y$  es llamado un **ancestro** de  $X$  si hay un camino de  $Y$  a  $X$ .

De acuerdo con la discusión de la sección anterior, los nodos en un red bayesiana representan variables proposicionales de interés y los arcos o aristas representan dependencias causales o informativas entre las variables. Las dependencias están cuantificadas por probabilidades condicionales para cada nodo dados sus padres en la red. La red apoya el cálculo de las probabilidades de cualquier subconjunto de variables dada cierta evidencia sobre cualquier otro subconjunto.

Pearl y Russell [70] indican que cualquier modelo probabilístico completo de un dominio debe, de forma explícita o implícita, representar la distribución conjunta (la probabilidad de cada posible evento en términos de valores de todas las variables). Ya que hay un número exponencial de tales eventos, las redes bayesianas buscan compactar esta información mediante la factorización de la distribución conjunta en distribuciones locales condicionales para cada variable y sus padres.

Una red bayesiana está definida por un conjunto de variables proposicionales  $V$ , un conjunto  $E$  de relaciones binarias sobre las variables de  $V$  y distribución de probabilidad conjunta  $P$  definida sobre  $V$ , tales que:

- $\mathcal{G} = (V, E)$  es una gráfica dirigida acíclica y conexa.
- $(\mathcal{G}, P)$  cumple la hipótesis de independencia condicional o separación direccional.

Adicionalmente, si  $x_i$  denota algún valor de  $X_i$  y  $pa_i$  denota algún conjunto de valores para los padres de  $X_i$ , entonces  $P(x_i|pa_i)$  denota su distribución condicional. La semántica global de la red bayesiana especifica que la distribución conjunta completa está dada por el producto

$$P(x_1, \dots, x_n) = \prod_i P(x_i|pa_i) \quad (\text{B.1})$$

### B.3. Algoritmos de propagación de probabilidades

A partir de la ecuación B.1, se puede expresar la probabilidad de cualquier proposición deseada en términos de probabilidades condicionales especificadas en la red. Esto nos permite ver como los valores de ciertas variables afectan a las probabilidades del resto de ellas.

Si se quisiera realizar estos cálculos aplicando el Teorema de Bayes, la ley de probabilidad total y las condiciones de independencia condicional el número de operaciones necesarias crece exponencialmente con el número de variables de la red, y rápidamente se convertiría en un problema computacionalmente intratable. Por tal motivo, los algoritmos de propagación de probabilidades se basan en las relaciones de independencia implícitas en la estructura de una red bayesiana para el cálculo de las probabilidades de cada uno de los nodos, dada la evidencia disponible.

Los primeros algoritmos propuestos para los cálculos probabilísticos en redes bayesianas usan una arquitectura local y distribuida de paso de mensajes. Inicialmente esta propuesta estuvo limitada a redes con estructura de árboles [40], sin embargo, más adelante fue extendido a redes de cualquier tipo mediante el método de Lauritzen y Spiegelhalter [47].

### B.3.1. Propagación en redes con forma de árbol

La idea general de este algoritmo consiste en que cuando se modifica la información asociada a un nodo, éste comunica esta información a sus nodos vecinos mediante un conjunto de mensajes; a su vez, estos nodos procesan la información recibida junto con la que ellos poseen y nuevamente la pasan a sus nodos vecinos que aún no hayan sido modificados y así sucesivamente hasta que todos los nodos han actualizado su información.

Se calcula que este algoritmo se ejecuta en tiempo lineal respecto al número de nodos de la red, pero su principal limitación es que sólo se puede aplicar a redes con estructura de árbol.

El algoritmo consta de dos fases:

**Fase de inicialización.** En esta fase se obtienen las probabilidades a priori de todos los nodos de la red, este será el estado inicial de la red denotaremos por  $S_0$ .

**Fase de actualización.** Cuando una variable obtiene un nuevo valor se actualiza el estado de la red a partir de las probabilidades a posteriori de las variables de la red basadas en la nueva evidencia, generando un nuevo estado de la red que denotaremos por  $S_1$ . Este paso se repite cada vez que se obtiene nueva evidencia de una variable, con los que se generan nuevos estados de la red.

De acuerdo con esta idea, la actualización de la red se produce mediante la generación de mensajes que se producen cuando se obtiene en nuevo valor para una variable. La comunicación de los mensajes se realiza de la siguiente forma:

- La variable envía un mensaje a su padre, que llamaremos el  $\lambda$ -mensaje, para informarle de que ha cambiado su valor.
- La variable envía un mensaje a todos sus hijos, que llamaremos el  $\pi$ -mensaje, para informarles de que ha cambiado su valor.

Así, la información se va propagando por la red tanto en sentido ascendente como descendente.

Cada mensaje produce en cada variable un valores que llamaremos  $\lambda$ -valor y  $\pi$ -valor, según el mensaje que lo produzca. Multiplicando estos valores obtendremos las probabilidades a posteriori de cada una de las variables de la red.

Los mensaje se calculan de la siguiente forma:

- Si  $B$  es un hijo de  $A$ ,  $B$  tiene  $k$  valores posibles y  $A$   $m$  valores posibles, entonces para  $j = 1, \dots, m$  el  $\lambda$ -mensaje de  $B$  a  $A$  está definido como:

$$\lambda_B(a_j) = \sum_{i=1}^k P(b_i|a_j) \cdot \lambda(b_i)$$

- Si  $B$  es hijo de  $A$  y  $A$  tiene  $m$  valores posibles, entonces para  $j = 1, \dots, m$ , el  $\pi$ -mensaje de  $A$  a  $B$  está definido como:

$$\pi_B(a_j) = \begin{cases} \pi(a_j) \cdot \prod_{C \in S(A) \text{ y } C \neq B} \lambda_C(a_j) & \text{Si } A \text{ no ha sido instanciada} \\ 1 & \text{Si } A = a_j \\ 0 & \text{Si } A \neq a_j \end{cases}$$

- Si  $B$  tiene  $k$  valores posibles entonces para  $i = 1, \dots, k$  el  $\lambda$ -valor de  $B$  está definido como:

$$\lambda(b_i) = \begin{cases} \prod_{C \in S(B)} \lambda_C(b_i) & \text{Si } B \text{ no ha sido instanciada} \\ 1 & \text{Si } B = b_i \\ 0 & \text{Si } B \neq b_i \end{cases}$$

Si  $A$  es padre de  $B$ ,  $B$  tiene  $k$  valores posibles y  $A$  tiene  $m$  valores posibles, entonces, para  $i = 1, \dots, k$ , el  $\pi$ -valor de  $B$  está definido como:

$$\pi(b_i) = \sum_{j=1}^m P(b_i|a_j) \cdot \pi_B(a_j)$$

### Algoritmo 1 (Algoritmo de propagación en redes con forma de árbol)

1. *Inicialización.*

A. *Inicializar todos los  $\lambda$ -mensajes y  $\lambda$ -valores a 1.*

B. *Si la raíz  $A$  tiene  $m$  posibles valores, entonces para  $j = 1, \dots, m$ , sea*

$\pi(a_j) = P(a_j)$ .

C. *Para todos los hijos  $B$  de la raíz  $A$ ,*

*Enviar un nuevo  $\pi$ -mensaje a  $B$  usando la ecuación 2.*

*Esto comenzará un flujo de propagación de acuerdo con 2.C.*

2. *Actualización.*

*Cuando una variable se instancia o una variable recibe un  $\lambda$   $\pi$ -mensaje, se usa uno de los siguientes procedimientos de actualización:*

A. *Si una variable  $B$  se instancia a un valor  $b_j$ , entonces:*

A.1. *Inicializar  $P^*(b_j) = 1$  y  $P^*(b_i) = 0$ , para todo  $i \neq j$ .*

A.2. *Calcular  $\lambda(B)$  usando la fórmula 3.*

A.3. *Enviar un nuevo  $\lambda$ -mensaje al padre de  $B$  usando la ecuación 1.*

A.4. *Enviar nuevos  $\pi$ -mensajes a los hijos de  $B$  usando la ecuación 2.*

B. *Si una variable  $B$  recibe un nuevo  $\lambda$ -mensaje de uno de sus hijos y la variable  $B$*

*no ha sido instanciada todavía, entonces:*

*B.1. Calcular el nuevo valor de  $\lambda(B)$  usando la ecuación 3.*

*B.2. Calcular el nuevo valor de  $P^*(B)$  usando la ecuación 5.*

*B.3. Enviar un nuevo  $\lambda$ -mensaje al padre de  $B$  usando la ecuación 1.*

*B.4. Enviar nuevos  $\pi$ -mensajes a los otros hijos de  $B$  usando la ecuación 2.*

*C. Si una variable  $B$  recibe un nuevo  $\pi$ -mensaje de su padre y la variable  $B$  no ha sido instanciada todavía, entonces:*

*C.1. Calcular el nuevo valor de  $\pi(B)$  usando la ecuación 4.*

*C.2. Calcular el nuevo valor de  $P^*(B)$  usando la ecuación 5.*

*C.3. Enviar nuevos  $\pi$ -mensajes a los hijos de  $B$  usando la ecuación 2.*

### B.3.2. Propagación mediante el algoritmo de agrupamiento

De manera general, los algoritmos de agrupamiento se desarrollan en dos fases. El objetivo de la primera fase es reducir la red original a una estructura llamada árbol de grupos maximales. En la segunda etapa se usa esta estructura para calcular las probabilidades de manera local en cada grupo, estas probabilidades se pasan de un grupo a otro mediante mensajes de manera similar a la propagación en árboles.

Las actividades que se realizan en cada fase son las siguientes:

**En la fase 1**, el primer paso consiste en añadir enlaces para moralizar la gráfica original (se dice que una gráfica no dirigida es moral cuando todos los padres están “casados”, es decir, relacionados). Luego suprimimos la dirección de los arcos, con lo cual nos queda una gráfica no dirigida.

A continuación se convierte la gráfica en triangular, decimos que una gráfica está triangulada si para cada ciclo de longitud mayor o igual a cuatro hay al menos un arista que conecta dos nodos no consecutivos. Para triangular una gráfica se añaden las aristas necesarias para que no haya ciclos de cuatro o más nodos.

A partir de esta gráfica se obtienen los grupos maximales, se dice que un conjunto completo es maximal si no es subconjunto propio de otro conjunto completo de la gráfica.

Una vez obtenidos los grupos maximales, se ordenan de acuerdo a una heurística, por ejemplo, el criterio de peso mínimo, y conforme a esta ordenación se calcula el árbol de grupos maximales.

**En la fase 2**, se inicializa la red asignando a cada grupo maximal una función de sus variables denominada función potencial, la cual consiste en una distribución de probabilidad marginal obtenida a partir de las tablas de probabilidad condicional y de la

evidencia disponible. La probabilidad correspondiente a una variable se calcula marginalizando y normalizando la tabla de probabilidad de uno de los grupos maximales que contienen dicha variable.

A partir de los potenciales de cada grupo se obtiene una factorización de la distribución de la probabilidad conjunta definida por la red. Como el árbol construido es independiente de la evidencia observada, puede ser utilizado para realizar cualquier propagación.

Si existen evidencias debemos en primer lugar cambiar las funciones potenciales de acuerdo a dichas evidencias. Esta etapa se conoce con el nombre de absorción de evidencias.

En la llamada fase de propagación de la evidencia, se utiliza el árbol de grupos maximales junto con los potenciales asociados a cada uno de ellos (en los que habremos absorbido la evidencia si es que la había) para calcular las probabilidades de cada nodo.



# Apéndice C

## WEKA

### C.1. Introducción

WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis) es un entorno de trabajo que provee una colección de algoritmos para el aprendizaje automático así como herramientas de preprocesamiento y visualización para apoyar las actividades de investigación relacionadas con el uso de la minería de datos. WEKA permite comparar con facilidad diferentes métodos de aprendizaje automático aplicándolos sobre un conjunto de datos, ya sea a través de su interfaz gráfica o bien ejecutados directamente desde código en Java. Adicionalmente, WEKA está diseñado para facilitar la integración de nuevos algoritmos de aprendizaje automático.

El entorno de trabajo incluye herramientas para preprocesamiento de datos, selección de atributos, clasificación, regresión, agrupamientos, reglas de asociación y visualización.

Las características principales de weka [14] son:

**Preprocesamiento de datos.** WEKA define su propio formato de archivos y soporta otros como CVS, y conexión directa a una base de datos a través de JDBD. Los datos pueden ser procesados antes de su análisis con más de 75 filtros que ofrecen la posibilidad de remover atributos, reordenar la muestra, entre otras.

**Clasificación.** WEKA ofrece más de 100 métodos de clasificación que se encuentran divididos en métodos bayesianos (Naive Bayes, redes bayesianas), métodos perezosos (vecino más cercano y sus variantes), métodos basados en reglas (tablas de decisión), métodos basados en árboles (C4.5, árboles naive bayes, M5), métodos basados en funciones (regresión lineal, procesos gaussianos) y métodos misceláneos. Adicionalmente, WEKA incluye metaclasificadores.

**Agrupamiento.** WEKA brinda soporte para el aprendizaje no supervisado a través de diferentes esquemas como EM, K-means, algoritmos de agrupamiento jerárquicos.

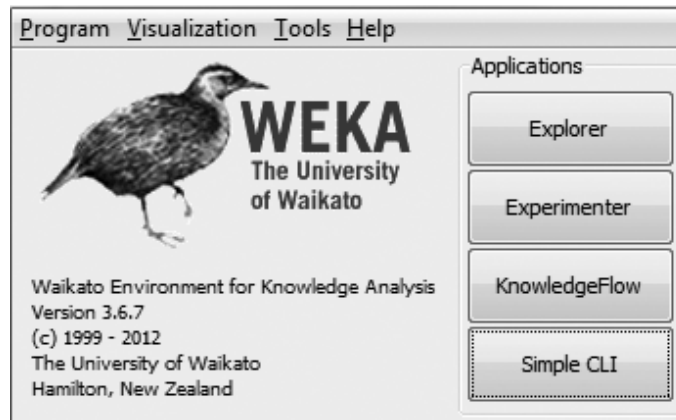


Figura C.1: Selector de interfaces de WEKA

Selección de atributos. WEKA tiene disponibles diferentes métodos de búsqueda y criterios de selección para analizar los atributos de las muestras seleccionadas.

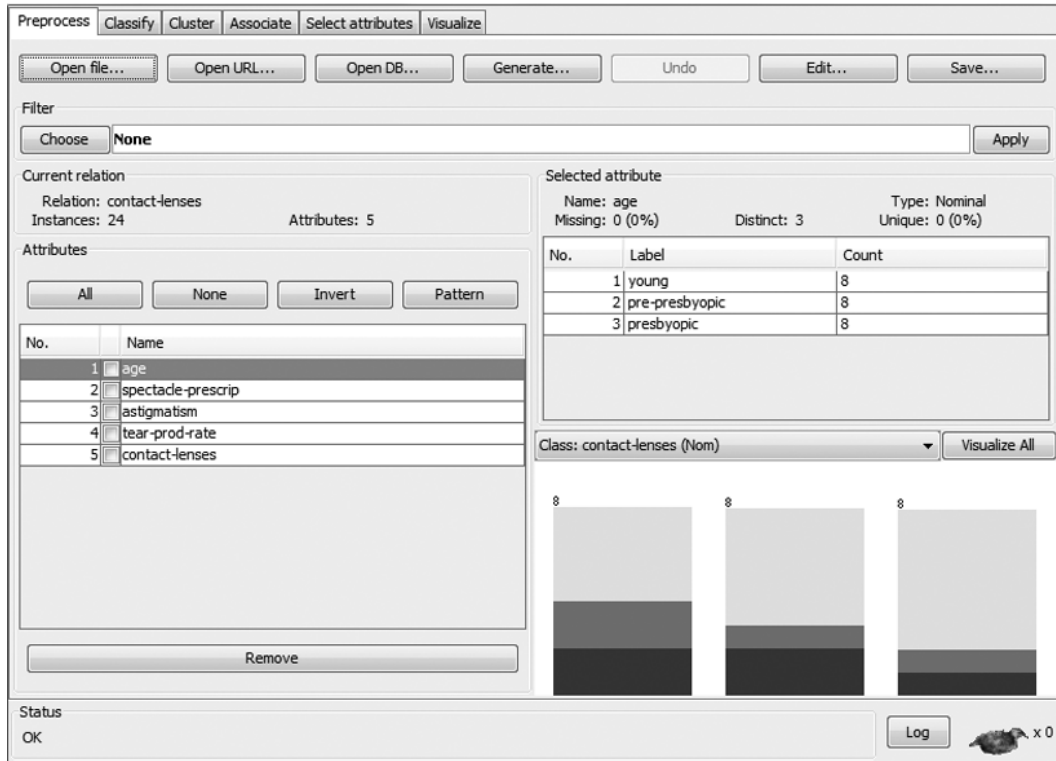
**Visualización de datos.** WEKA cuenta con la posibilidad de visualizar de forma gráfica los datos para facilitar su análisis. Los resultados de la clasificación, por ejemplo, pueden ser comparados con los datos de entrenamiento para analizar el comportamiento del clasificador.

La descripción que se presenta en esta sección está basada en la reseña de Hall et. al. ([31]), así como en el manual de la herramienta desarrollado por García-Morante [29] y el manual oficial de WEKA [15].

## C.2. Entorno de trabajo

Weka tiene diversas interfaces gráficas que facilitan el acceso a sus diferentes funcionalidades (Figura C.1):

- Explorer,
- Experimenter,
- Knowledge flow,
- Simple CLI.

Figura C.2: Interfaz *Explorer*

### C.3. Explorer

La interfaz principal se denomina *Explorer*, provee el acceso a diferentes tareas de la minería de datos:

1. Preprocesado de los datos y aplicación de filtros,
2. Clasificación,
3. Agrupamiento,
4. Búsqueda de Asociaciones,
5. Selección de atributos,
6. Visualización de datos.

#### C.3.1. Preprocesamiento de datos

La interfaz de preprocesamiento (figura C.2) permite que los datos por analizar sean cargados y transformados a través de las herramientas denominadas “filtros”.

Los datos pueden ser cargados desde varias fuentes, incluyendo archivos, URL, bases de datos. Los formatos soportados son ARFF, CSV, LibSVM y C4.5. También es posible generar datos usando una fuente de datos artificial y editarlos manualmente.

### Descripción general del panel de preprocesamiento

De acuerdo con las diferentes fuentes de datos que soporta WEKA, los métodos para la definición de la fuente de datos son:

**Open file.** Permite elegir un archivo con los datos que se van a trabajar. Aunque el formato por defecto de Weka es el ARFF, también soporta los siguientes formatos:

- CSV, archivos separados por comas o tabuladores;
- C4.5, archivos codificados según el formato C4.5, este formato requiere que los nombres de los atributos esten en un archivo con extensión “.names” y los datos en un archivo “.data” ambos con el mismo nombre y ubicados en el mismo directorio;
- instancias serializadas, Weka internamente almacena cada muestra de los datos como una instancia de la clase *instance*. Esta clase es serializable de acuerdo con la definición de Java.

**Open URL.** Permite acceder a un archivo con los datos a través de una URL. El manejo de los archivos es el mismo que la opción “Abrir archivo”

**Open DB.** Permite el acceso a los datos directamente de una base de datos. Para ello es necesario definir la url de la base de datos, la contraseña para acceder, el nombre de usuario, la consulta que queremos realizar y si queremos o no usar el modo de datos abreviado (*sparse data*).

**Generate.** Permite la generación de datos artificiales a partir de una variedad de generadores de datos.

**Undo.** Permite deshacer los cambios realizados a los datos que se están procesando.

**Edit.** Posibilita la edición de los datos cargados de forma directa.

**Save.** Sirve para guardar los datos ya transformados en formato ARFF.

Una vez que los datos se cargan, el panel de preprocesamiento muestra la siguiente información sobre ellos en la sección denominada *Current relation*:

- **Relation.** Indica el nombre de la relación según la información del archivo cargado, el nombre es modificado según los filtros que se apliquen a la relación.
- **Instances.** Es el número de ejemplares (registros) de la fuente de datos que se cargó.

- **Attributes.** Es el número de atributos (características) en los datos.

Además, se muestra en la ventana cada uno de los atributos que componen los datos, junto con un resumen con estadísticas de los mismos (media aritmética, rango de los datos, desviación estándar, número de instancias distintas, de qué tipo son, etc.). En la parte inferior derecha, aparece una representación gráfica del atributo seleccionado, se puede elegir el atributo que se usa como referencia o clase. Se pueden visualizar todos los atributos en una ventana desplegable.

### Filtros

WEKA ofrece una gran diversidad de filtros sobre los datos, permitiendo realizar transformaciones sobre ellos. Los filtros trabajan sobre los atributos o los ejemplares de los datos que se están procesando.

Algunos de los filtros más importantes sobre los atributos son:

- **Add.** Añade un atributo más. Como parámetros debemos proporcionarle la posición que va a ocupar este nuevo atributo (esta vez comenzando desde el 1), el nombre del atributo y los posibles valores de ese atributo separados entre comas. Si no se especifican, se sobreentiende que el atributo es numérico.
- **Remove.** Borra un conjunto de atributos de los datos cargados.
- **Discretize.** Discretiza un conjunto de valores numéricos en rangos de datos. Como parámetros toma los índices de los atributos discretizar (attribute indices) y el número de particiones en que queremos que divida los datos (bins). Si queremos que las particiones las realice por la frecuencia de los datos y no por el tamaño de estas tenemos la opción useEqualFrequency. Si tenemos activada esta última opción podemos variar el peso de las instancias para la definición de los intervalos con la opción DesiredWeightOfInstancesPerInterval. Si, por el contrario, tenemos en cuenta el número de instancias para la creación de intervalos podemos usar findNumBins que optimiza el procedimiento de construcción de los mismos.
- **Normalize.** Normaliza todos los datos de manera que el rango de los datos pase a ser [0,1]. Para normalizar un vector se utiliza la fórmula:

$$X(i) = \frac{x(i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x(i)^2}}$$

- **NominalToBinary.** Transforma los valores nominales de un atributo en un vector cuyas coordenadas son binarias.
- **NumericToBinary.** Convierte datos en formato numérico a binario. Si el valor de un dato es 0.

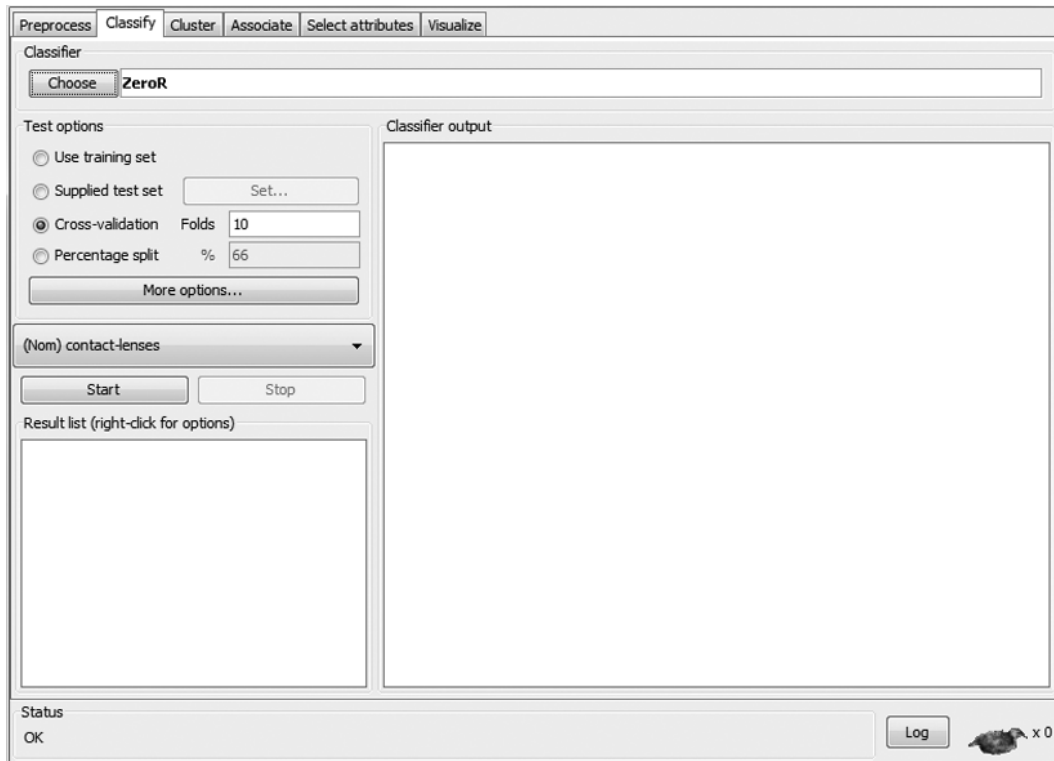


Figura C.3: Panel de clasificación

- StringToNominal. Convierte un atributo de tipo cadena en un tipo nominal.
- SwapValues. Intercambia los valores de dos atributos nominales.o desconocido, el valor en binario resultante será el 0.

Algunos de los filtros sobre los ejemplares son:

- Randomize. Modifica el orden de los ejemplares de forma aleatoria.
- RemoveFolds. Permite eliminar un conjunto de datos. Este filtro está pensado para eliminar una partición en una validación cruzada.
- RemovePercentage. Suprime un porcentaje de la muestra.
- RemoveRange. Elimina un rango de instancias.
- Resample. Obtiene un subconjunto del conjunto inicial de forma aleatoria.

### C.3.2. Clasificación

La sección de clasificación (figura C.3) permite aplicar diferentes algoritmos de clasificación y regresión a los datos que han sido cargados. Las distintas técnicas disponibles en esta sección pueden ser vistas como predictores de clases continuas. Los algoritmos de clasificación en WEKA están diseñados para ser entrenados para predecir un sólo atributo (clase) el cual será el objetivo de la predicción. Algunos algoritmos sólo permiten predecir atributos nominales o numéricos.

En la parte superior del panel de clasificación se encuentra el selector del clasificador que se va a utilizar. Usando el botón “Choose” se despliega la lista de algoritmos para la clasificación disponibles, los algoritmos están organizados en árboles de decisión, reglas, algoritmos de regresión y modelos bayesianos . Cada clasificador ofrece la posibilidad de cambiar los parámetros con los que se ejecutará el algoritmo

El algoritmo elegido será aplicado al conjunto de datos según las opciones de entrenamiento definidas en la sección “Test options”. Los cuatro modos de prueba son:

1. Use training set. Con esta opción WEKA entrenará el método con todos los datos disponibles y luego lo comprobará sobre el mismo conjunto.
2. Supplied test set. Nuevamente WEKA usará los datos disponibles para el entrenamiento del clasificador, pero la comprobación se realizará con el conjunto de datos que se especifique, pulsando el botón “Set”.
3. Cross-validation. Con esta opción WEKA realizará una validación cruzada estratificada del número de particiones indicado (Folds). La validación cruzada consiste en que dado un número  $n$  se divide los datos en  $n$  partes y, por cada parte, se construye el clasificador con las  $n-1$  partes restantes y se prueba con esa. Una validación cruzada es estratificada cuando cada una de las partes conserva las propiedades de la muestra original (porcentaje de elementos de cada clase).
4. Percentage split. Se define un porcentaje con el que se construirá el clasificador y con la parte restante se comprobará

WEKA muestra una representación textual del modelo que construye a partir de los datos en la sección de mensajes (Classifier output). En la zona inferior-izquierda se encuentra la lista de resultados en la que aparecerán cada uno de los experimentos que vayamos realizando. Esta lista también nos permite acceder a más opciones sobre los resultados obtenidos: visualizar los resultados en forma gráfica (por ejemplo el modelo o los errores de predicción), cargar y abrir un modelo, y volver a evaluar un modelo entrenado previamente con el conjunto de datos actual.

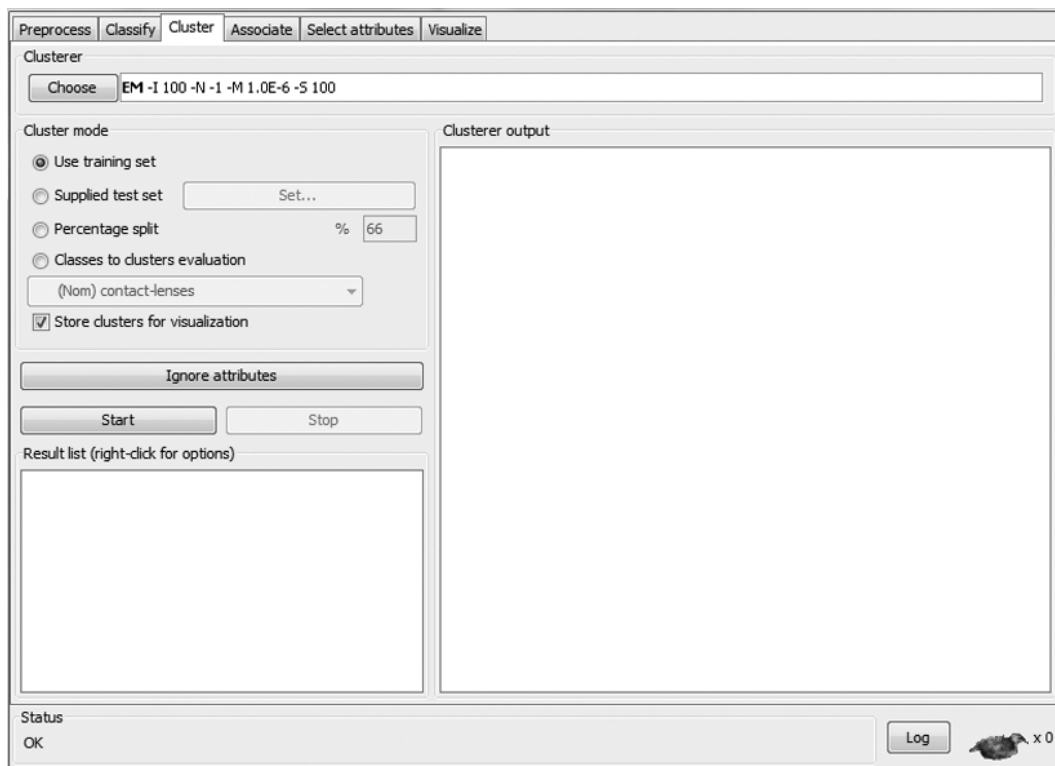


Figura C.4: Panel de agrupamiento



### C.3.3. Agrupamiento

WEKA también ofrece soporte para algoritmos no supervisados a través de los paneles “Cluster” y “Associate”. El panel “Cluster” (figura C.4) permite la ejecución de algoritmos de agrupamiento sobre los datos cargados en el panel de preprocesamiento.

El funcionamiento es muy similar al panel de clasificación: se elige un método de agrupamiento, se seleccionan los parámetros deseados y se inicia el entrenamiento.

La sección “Cluster mode” define cómo se realizará la búsqueda de grupos y cómo se evaluarán los resultados de forma similar a la clasificación. Las tres primeras opciones son las mismas que en la clasificación excepto que ahora los datos son asignados a grupos en lugar de predecir una clase en específico. El cuarto modo “Classes to clusters evaluation”, compara qué tan bien empata el agrupamiento encontrado con la clase predefinida especificada en los datos a través de uno de los atributos. El atributo que se usará como clase se especifica mediante una lista desplegable que acompaña a este modo.

WEKA ofrece una evaluación estadística para medir el rendimiento de los grupos encontrados utilizando el criterio de vecindad y comparación con la clase de cada ejemplar en caso de que exista el atributo en el conjunto de datos original. Activando la opción “Store cluster for evaluation” es posible visualizar de forma gráfica la distribución de los datos en los grupos encontrados. De la misma forma que en la clasificación, el modelo obtenido también puede ser almacenado o cargado.

### C.3.4. Búsqueda de asociaciones

WEKA también nos permite aplicar técnicas orientadas a buscar asociaciones entre datos. En el panel “Associate” (figura C.5) se tiene acceso a los algoritmos más conocidos para encontrar reglas de asociación. Es importante indicar que estos métodos sólo funcionan con datos nominales.

El funcionamiento es similar a los anteriores, aunque ofrece menos opciones de configuración. El primer paso será elegir el algoritmo usando el botón “Choose”, para cada opción se pueden cambiar las propiedades con las que se ejecutará el algoritmo haciendo un clic sobre el nombre del algoritmo. Finalmente se inicia la búsqueda de asociaciones con el botón “Start”

### C.3.5. Selección de Atributos

De acuerdo con [31], una de las actividades más importantes en la práctica de la minería de datos es identificar cuáles atributos de los datos son más útiles para realizar predicciones. Para esta tarea WEKA provee distintas herramientas a través del panel *Select attributes* (figura C.6), el objetivo de estos algoritmos y criterios de evaluación es identificar los atributos más importantes del conjunto de datos establecido.

Para realizar la selección de atributos, primero se debe elegir el método de evaluación

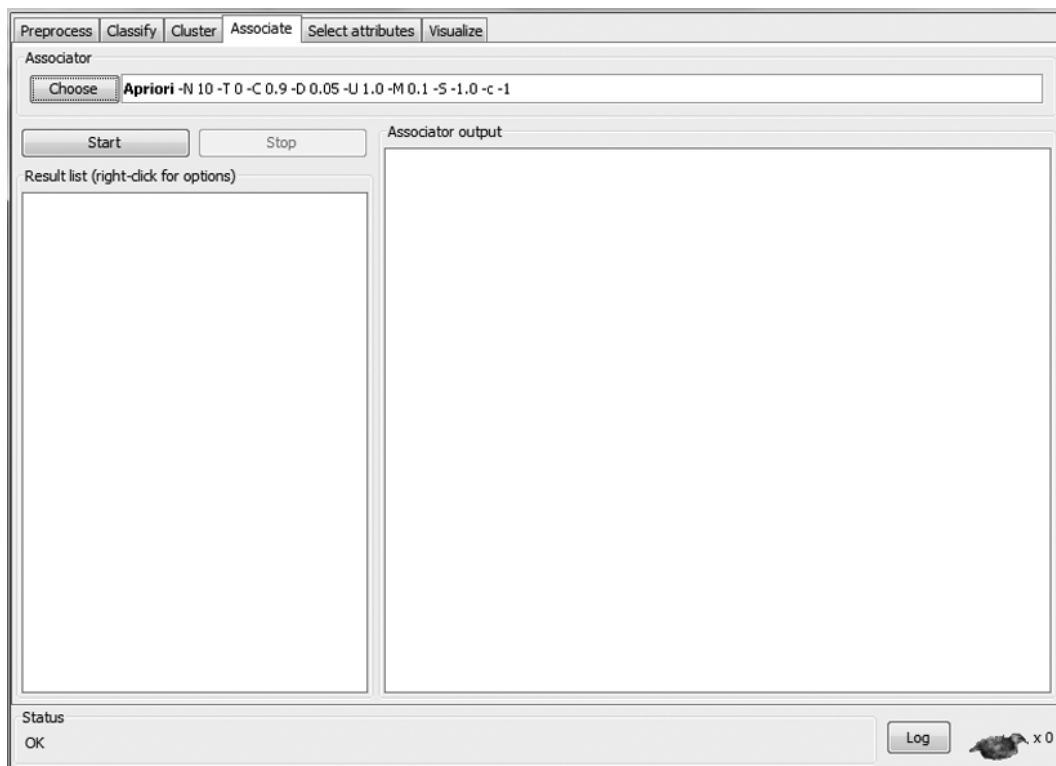


Figura C.5: Búsqueda de asociaciones

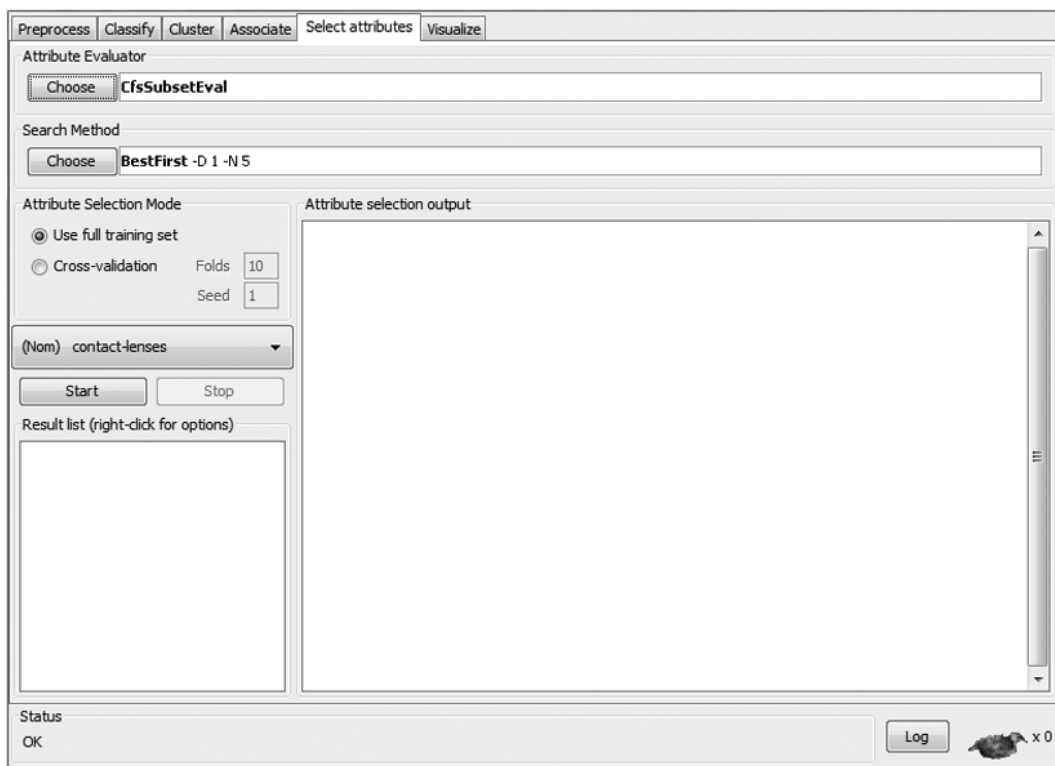


Figura C.6: Selección de atributos

de atributos (Attribute evaluator). Este método será el encargado de evaluar cada uno de los

casos a los que se le enfrente y dotar a cada atributo de un peso específico. El funcionamiento para seleccionar este método es el mismo que con otros métodos en WEKA, se selecciona el método con el botón “Choose” situado dentro del área “Attribute evaluator”. Una vez seleccionado podemos acceder a las propiedades del mismo dando un clic sobre el nombre de del método seleccionado.

En la siguiente área se elige el método de búsqueda que será el encargado de generar el espacio de pruebas. Una vez seleccionado el método de evaluación y el de generación del espacio de pruebas sólo falta elegir el método de prueba, el atributo que representa la clasificación conocida.

En la sección de resultados podemos acceder a la opción de visualización a través de la opción “Visualize Reduced Data”.

Este panel permite combinar diferentes métodos de búsqueda con diferentes criterios de evaluación. La robustez de los atributos seleccionados puede ser validada a través de métodos que siguen el enfoque de la validación cruzada.

### C.3.6. Visualización

WEKA ofrece un panel específico para la visualización gráfica de la dispersión de los atributos.

La información se muestra en una matriz de gráficas de dispersión de los atributos, donde se pueden observar todos los datos o sólo una parte de ellos. La distribución de todos los atributos se muestra en gráficas en dos dimensiones, una gráfica por cada posible par de combinaciones de los atributos.

La finalidad principal de este panel es el apoyo a la identificación de correlaciones y posibles asociaciones entre los atributos mediante las diferentes gráficas.

También es posible obtener más información de puntos en específico y realizar una perturbación aleatoria a los datos.

## C.4. Experimenter

La interfaz *Experimenter* está diseñada para proveer un ambiente de experimentación que facilite la comparación del desempeño de distintos algoritmos y criterios de evaluación disponibles en WEKA. Los experimentos pueden involucrar múltiples algoritmos que son ejecutados sobre múltiples grupos de datos. Los experimentos también pueden ser ejecutados en diversos equipos distribuidos en una red para reducir la carga de procesamiento.

La configuración de un experimento puede ser guardada en un archivo.

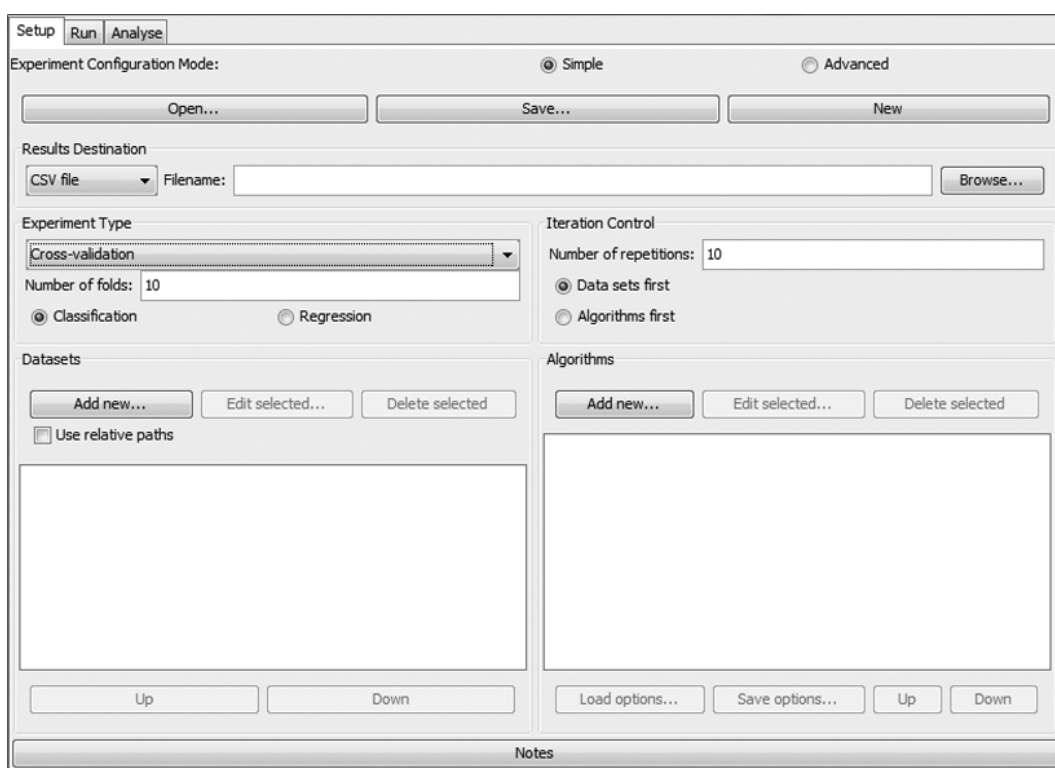


Figura C.7: Interfaz Experimenter

El modo de experimentación ofrece tres paneles (figura C.7):

- Setup
- Run
- Analise

#### C.4.1. Configuración

El panel de configuración (Setup) ofrece una interfaz de configuración simple o avanzada (figura C.7). La principal diferencia entre el funcionamiento simple o avanzada es que en el modo avanzado se pueden especificar con mayor detalles las propiedades con las que se ejecutan cada una de las tareas.

Toda la información de un experimento se almacena en un archivo propio de Weka, la interfaz de configuración permite abrir un archivo previamente creado, guardar la configuración actual o crear un nuevo ambiente de experimentación.

En el panel de experimentación se puede especificar el nombre del archivo donde se almacenarán los resultados del experimento, si este archivo no se especifica, sí se puede llevar a cabo el experimento pero no se pueden ver los resultados obtenidos. El archivo de resultados puede estar en formato ARFF, CSV o almacenados directamente en una base de datos a través de JDBC.

La validación del experimento se puede realizar en tres formas: validación-cruzada estratificada, entrenamiento con un porcentaje de la población tomando ese porcentaje de forma aleatoria y entrenamiento con un porcentaje de la población tomando el porcentaje de forma ordenada.

Los datos que se analizarán en el experimento son especificados en la sección Dataset, aquí puede especificar un archivo en específico o un directorio que contendrá los archivos con los datos, en esta misma sección se le indica a Weka si debe o no usar rutas relativas para acceder a los archivos.

En la sección Iteraction control se indica el número de iteraciones del experimento, especificando si queremos que se procesen primero todos los conjunto de datos sobre cada algoritmo o primero todos los algoritmos sobre cada conjunto de dato.

Debajo se encuentra la sección de algoritmos en la se que puede añadir los algoritmos que se utilizarán en la sesión, sobre la lista de algoritmos se pueden editar las propiedades de cada algoritmo o eliminar alguno de ellos.

#### C.4.2. Ejecución

El panel de ejecución (*Run*) permite iniciar el experimento con las propiedades establecidas en la sección de configuración. Este panel presenta un botón para iniciar el

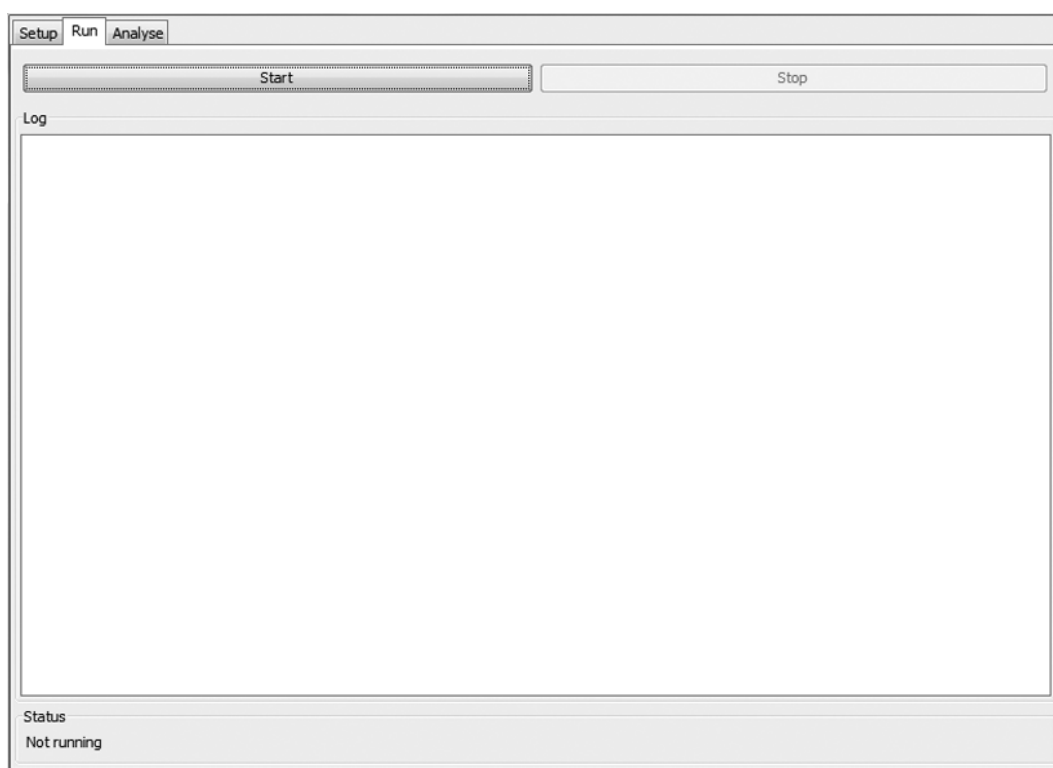


Figura C.8: Panel de ejecución de un experimento

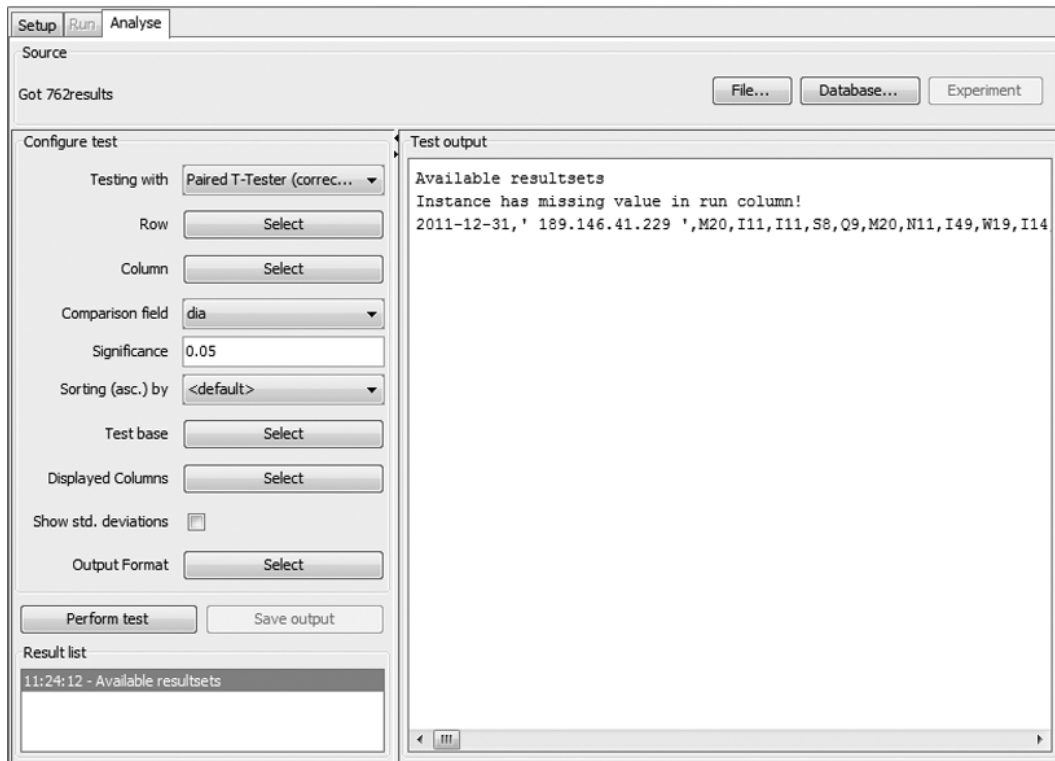


Figura C.9: Panel de análisis de un experimento

experimento y otro para detenerlo (figura C.8).

Una vez que un experimento se detienen no se puede volver a iniciar en el punto donde se interrumpió, el experimento se debe reiniciar desde el punto inicial.

En la sección de mensajes sólo se muestran los mensajes de inicio, finalización y número de errores, los resultados del experimento sólo serán guardados en el archivo definido en la configuración.

### C.4.3. Análisis

Después que se configuró y se ejecutó el experimento, podemos realizar el análisis de los resultados, para esto WEKA ofrece el panel de análisis (figura C.9).

En el panel de análisis se debe especificar la fuente donde los resultados del experimento fueron almacenados: un archivo específico, una base de datos o los datos del último experimento ejecutado.

En la sección de configuración de la prueba se pueden especificar las distintas opciones para configurar el análisis.

En la sección de mensajes de salida se van mostrando los reportes que weka realiza



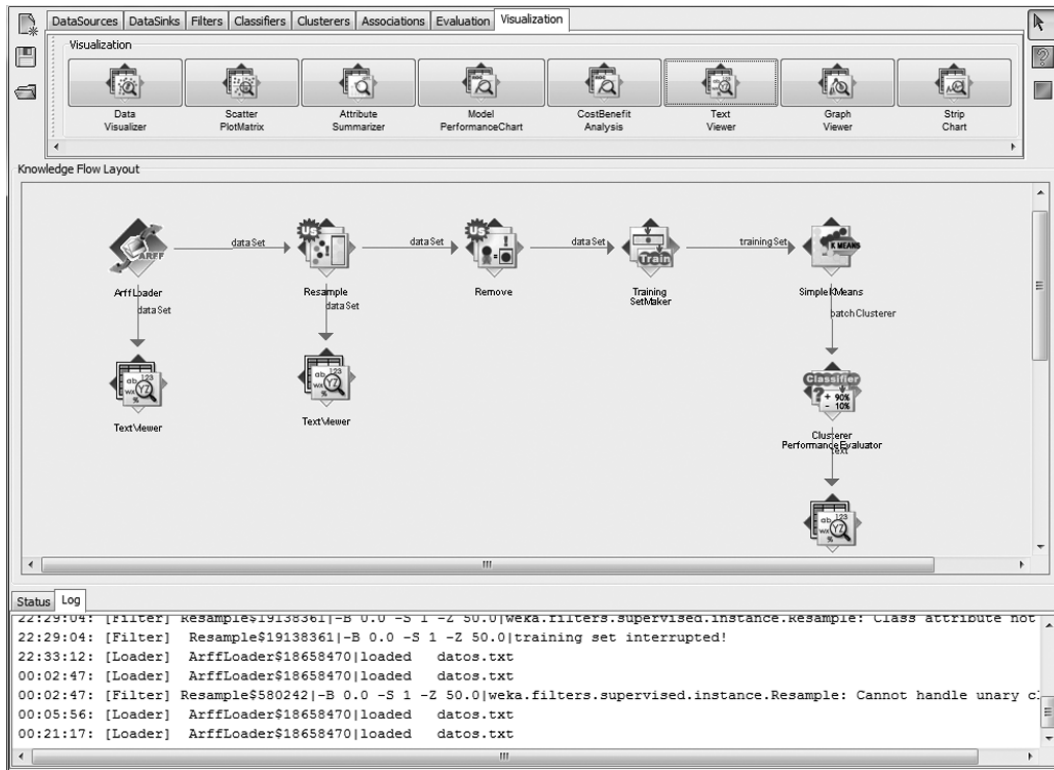


Figura C.10: Interfaz KnowledgeFlow

sobre el procesamiento de los datos.

## C.5. Knowledge flow

La interfaz *KnowledgeFlow* proporciona el acceso al todo conjunto de algoritmos de WEKA de una forma visual. Este modo de trabajo se basa en flujo de los datos en un experimento de WEKA. Mediante esta interfaz se construye un experimento de forma gráfica desde la definición del origen de los datos hasta la visualización de los resultados.

La interfaz agrupa los algoritmos de WEKA en distintas paletas (figura C.10): DataSources, DataSinks, Filters, Classifiers, Clusterers, Associations, Evaluation, Visualization.

El usuario debe seleccionar los componentes que formaran su experimentos de cada una de las paletas y ponerlos en el área denominada Knowledge Flow Layout donde se deberán unir los componentes para procesar y analizar los datos correspondientes.

La interfaz también incluye una sección para ver el estatus de un experimento y los mensajes que se vayan generando durante la ejecución del mismo.

Para iniciar la ejecución del experimento ensamblado en el panel correspondiente,

se debe elegir la acción de Start Loading dentro de las opciones del módulo de carga de datos. Los resultados pueden ser observados en cada uno de los visores de información que se hayan agregado con la opción Show Results.

## C.6. Simple CLI

La interfaz *Simple CLI* o *Simple Client* proporciona una consola para poder acceder mediante comandos, a todos los métodos de WEKA. Es una interfaz poco usada ya que toda la funcionalidad se soporta de manera más intuitiva a través de alguna de las interfaces anteriores.

Los comandos más importantes son los siguientes:

`java <nombre_de_la_clase> [<args>]` Ejecuta el método main de la clase especificada con los argumentos indicados después del nombre. Cuando un comando se ejecuta, se genera un hilo independiente, por lo que es posible ejecutar varias tareas de manera concurrente.

`break` Detiene el hilo de ejecución actual.

`kill` Finaliza de manera forzada el hilo de ejecución actual. Es una alternativa cuando el comando break no puede detener un hilo.

`cls` (*Clear Screen*) Elimina la información que se muestra en la consola.

`exit` Cierra la interfaz.

`help <comando>`

Proporciona una breve descripción del comando indicado.

## Apéndice D

# Diseño de un sistema de ayuda personalizada

Shneiderman y Plaisant [82] indican que la ayuda en línea ofrece descripciones concisas de objetos y acciones de interfaz, es una de las más efectivas para usuarios ocasionales con conocimientos previos, pero se considera menos útil para principiantes que tienen más necesidad de aprendizaje con tutoriales.

El esquema tradicional de la ayuda en línea es hacer que los usuarios tecleen o seleccionen un elemento del menú de ayuda y mostrar una lista de temas relacionados. Este método a veces es problemático para aquellos usuarios que no están seguros de los términos asociados a la tarea que les interesa.

Una variante que ha mostrado un buen funcionamiento es la ayuda sensible al contexto, en su presentación más simple, a partir de la posición del cursor se proporciona información útil sobre el objeto que está abajo del curso.

Otra aproximación es proporcionar ayuda iniciada por el sistema, denominada ayuda inteligente, que intenta hacer uso de la historia de interacción, de un modelo de población de usuarios y de una representación de sus tareas para hacer suposiciones sobre lo que necesitan los usuarios.

Este mismo principio puede ser aplicado para apoyar a los usuarios del sistema de registro de candidatos del ECOES, en este caso el conocimiento sobre el usuario y su tarea se representa con nuestro modelo del entendimiento del usuario.

### D.1. Ayuda contextual sobre la información que se debe capturar en el sistema

Hemos observado que cuando los usuarios que tienen dudas sobre la información que deben capturar en la solicitud de participación de movilidad dejan esos campos vacíos y

continúan con su actividad llenando los siguientes.

Aunque existe un instructivo de llenado general, el sistema no brinda mucha ayuda sobre el tipo de información que corresponde a cada campo del formulario. Solamente al solicitar la acción de “concluir la captura de la solicitud” se hace una validación sintáctica de todos los datos introducidos. Es hasta ese momento cuando el sistema le indica al usuario si los datos capturados son incorrectos o falta información.

En este tipo de situaciones se ha observado que el estudiante usa como principal herramienta de ayuda el correo electrónico, pero en la mayoría de los casos no encuentra una pronta respuesta por ese medio.

Para apoyar a los usuarios ante este tipo de dudas diseñamos un sistema de ayuda personalizada que proporciona ayuda contextual a partir del modelo del entendimiento del usuario.

Siguiendo la estructura de la información del sistema de registro de candidatos del ECOES, se diseñaron mensajes de ayuda que describen el tipo de información de algunos de los campos de los formularios.

El diseño de los mensajes considera el nivel de entendimiento de la interfaz por parte del usuario. Para ilustrar las diferencias entre los mensajes describiremos los mensajes de un artefacto interactivo el campo “Numero de cuenta Santander Universia” este campo viene acompañado de la siguiente instrucción en la interfaz:

Si tiene número de cuenta Santander Universia deberá indicarlo en el inciso siguiente, si no cuenta con él y su solicitud es aceptada, deberá tramitar su apertura y proporcionar el número al responsable de la movilidad estudiantil de la Institución de Educación Superior de origen a la mayor brevedad.

Este mensaje no ha sido claro para todos los usuarios quienes han realizado los siguientes comentarios:

- No tengo cuenta en el banco, debo abrirla antes de concluir el llenado de mi solicitud.
- Concluí la captura de mi solicitud de beca pero olvidé incluir el número de cuenta, ¿esto puede afectar mi solicitud de beca?
- ¿Cómo puedo cambiar un dato de mi registro? ya que cometí un error al introducir un dato y al darle la opción guardar no se me permite hacer cambios y no sé si haya problema pues se trata de mi número de cuenta.
- Necesito saber a donde tengo que llevar el número de cuenta del banco, porque me lo acaban de entregar.

En este caso se propone el siguiente mensaje contextual como parte de la ayuda del sistema:

Si tiene número de cuenta Santander Universia indíquelo en este campo.

el mensaje debe aparecer al señalar el campo del número de cuenta con el cursor.

	Tipo de conocimiento del estudiante	Mensaje para el número de cuenta
1	Estudiante que va a concluir captura de su solicitud y no indicó el número de cuenta	No ha especificado su número de cuenta Santander Universia, ¿cuenta con él?
2	Estudiante de la UNAM que va a concluir captura de su solicitud y confirmó que no cuenta con el número de cuenta	Si su solicitud es aceptada deberá tramitar su cuenta Santander Universia y proporcionar el número de cuenta al responsable de movilidad estudiantes de la UNAM
3	Estudiante que guarda sus datos temporalmente para continuar más adelante y no indicó el número de cuenta.	Su solicitud aún no ha sido concluida. Si cuenta su número de cuenta Santander Universia deberá especificarlo antes de concluir su solicitud.
4	Estudiante de la UNAM que solicita más información a través del botón de ayuda junto al número de cuenta	Si tiene número de cuenta Santander Universia deberá indicarlo en el inciso correspondiente, si no cuenta con él y su solicitud es aceptada, deberá tramitar su apertura y proporcionar el número al responsable de la movilidad estudiantil de la UNAM a la mayor brevedad.

Tabla D.1: Mensajes de ayuda personalizados

Se han diseñado diferentes mensajes para los usuarios que presenten cierto tipo de comportamiento, la tabla D.1 muestra los mensajes para cada tipo de situación detectada. Todos los mensajes están asociados a comunicar el significado del artefacto interactivo, pero cada uno de ellos está adaptado al contexto de la actividad actual del usuario y su interacción con el sistema.

## D.2. Sistema de reglas para la ayuda personalizada

Para la implementación de este sistema de ayuda personalizada se propone usar un sistema de reglas de producción. Las reglas de producción especifican el mensaje que se deben presentar al usuario para comunicar el objetivo de un artefacto interactivo. La condición de cada regla está formada por un patrón de comportamiento y una actividad del usuario y se asocia un mensaje de ayuda dirigido al usuario.

(patrón de comportamiento, tarea del usuario) => (mensaje\_n)

### **D.3. Observaciones**

Hasta el momento el sistema de ayuda personalizada no ha sido probado con usuarios para obtener una retroalimentación sobre su desempeño. En este momento se trabaja en el diseño y evaluación de los mensajes de ayuda, así como una primera evaluación de las reglas de producción a partir del comportamiento observado en una de las convocatorias anteriores.

La evaluación del sistema de ayuda personalizada se plantea integrar en la nueva versión del sistema de registro de candidatos del ECOES.

# Bibliografía

- [1] *ACM SIGCHI curricula for human-computer interaction*. Informe técnico, ACM, New York, NY, USA, 1992, ISBN 0-89791-474-0. <http://old.sigchi.org/cdg/>, Chairman:Thomas T. Hewett.
- [2] *Espacio Común de Educación Superior*. <http://www.ecoes.unam.mx/>, 2004. accedido 2011.
- [3] *Moodle, version 1.9*. <http://moodle.org>, 2007. accedido 2011.
- [4] Ahuja, Jaspreet S. y Jane Webster: *Perceived disorientation: an examination of a new measure to assess web design effectiveness*. *Interacting with Computers*, 14(1):15 – 29, 2001, ISSN 0953-5438. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0953543801000480>.
- [5] Anand, Sarabjot y Bamshad Mobasher: *Intelligent Techniques for Web Personalization*. En Mobasher, Bamshad y Sarabjot Anand (editores): *Intelligent Techniques for Web Personalization*, volumen 3169 de *Lecture Notes in Computer Science*, páginas 1–36. Springer Berlin / Heidelberg, 2005, ISBN 978-3-540-29846-5. [http://dx.doi.org/10.1007/11577935\\_1](http://dx.doi.org/10.1007/11577935_1), 10.1007/11577935\_1.
- [6] Anand, Sarabjot Singh y Bamshad Mobasher: *Introduction to intelligent techniques for Web personalization*. *ACM Trans. Internet Technol.*, 7, Octubre 2007, ISSN 1533-5399. <http://doi.acm.org/10.1145/1278366.1278367>.
- [7] Anderson, John R., Daniel Bothell, Michael D. Byrne, Scott Douglass, Christian Lebiere y Yulin Qin: *An integrated theory of the mind*. *PSYCHOLOGICAL REVIEW*, 111:1036–1060, 2004.
- [8] Anderson, J.R.: *The adaptive character of thought*. *Studies in cognition*. L. Erlbaum Associates, 1990, ISBN 9780805804195. <http://books.google.com.mx/books?id=qEE7qurQRwEC>.
- [9] Architectural and Transportation Barriers Compliance Board: *Part 1194: Electronic and information technology accessibility standards; final rule*. Informe técnico, U.S. Board Access, 2000. <http://www.access-board.gov/sec508/standards.htm>.

- [10] Ardissono, Liliana, Alfred Kobsa y Mark T. Maybury: *Personalized Digital Television: Targeting Programs to Individual Viewers*. Springer Publishing Company, Incorporated, 1ª edición, 2011, ISBN 9048166047, 9789048166046.
- [11] Billsus, Daniel y Michael Pazzani: *Adaptive News Access*. En Brusilovsky, Peter, Alfred Kobsa y Wolfgang Nejdl (editores): *The Adaptive Web*, volumen 4321 de *Lecture Notes in Computer Science*, páginas 550–570. Springer Berlin / Heidelberg, 2007, ISBN 978-3-540-72078-2. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-72079-9\\_18](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-72079-9_18), 10.1007/978-3-540-72079-9\_18.
- [12] Blackmon, Marilyn Hughes, Muneo Kitajima y Peter G. Polson: *Tool for accurately predicting website navigation problems, non-problems, problem severity, and effectiveness of repairs*. En *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, CHI '05, páginas 31–40, New York, NY, USA, 2005. ACM, ISBN 1-58113-998-5. <http://doi.acm.org/10.1145/1054972.1054978>.
- [13] Blackmon, Marilyn Hughes, Peter G. Polson, Muneo Kitajima y Clayton Lewis: *Cognitive walkthrough for the web*. En *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: Changing our world, changing ourselves*, CHI '02, páginas 463–470, New York, NY, USA, 2002. ACM, ISBN 1-58113-453-3. <http://doi.acm.org/10.1145/503376.503459>.
- [14] Bouckaert, Remco R., Eibe Frank, Mark A. Hall, Geoffrey Holmes, Bernhard Pfahringer, Peter Reutemann y Ian H. Witten: *WEKA—Experiences with a Java Open-Source Project*. *Journal of Machine Learning Research*, 11:2533–2541, 2010.
- [15] Bouckaert, Remco R., Eibe Frank, Mark A. Hall, Richard Kirkby, Peter Reutemann, Alex Seewald y David Scuse: *WEKA Manual for version 3-7-6*, 2012. University of Waikato, Hamilton, New Zealand.
- [16] Brusilovsky, Peter: *Methods and techniques of adaptive hypermedia*. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 6:87–129, 1996, ISSN 0924-1868. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00143964>, 10.1007/BF00143964.
- [17] Brusilovsky, Peter: *Adaptive Navigation Support*. En Brusilovsky, Peter, Alfred Kobsa y Wolfgang Nejdl (editores): *The Adaptive Web*, volumen 4321 de *Lecture Notes in Computer Science*, páginas 263–290. Springer Berlin / Heidelberg, 2007, ISBN 978-3-540-72078-2. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-72079-9\\_8](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-72079-9_8), 10.1007/978-3-540-72079-9\_8.
- [18] Brusilovsky, Peter y Mark T. Maybury: *From adaptive hypermedia to the adaptive web*. *Commun. ACM*, 45:30–33, Mayo 2002, ISSN 0001-0782. <http://doi.acm.org/10.1145/506218.506239>.
- [19] Brusilovsky, Peter y Eva Milln: *User Models for Adaptive Hypermedia and Adaptive Educational Systems*. En Brusilovsky, Peter, Alfred Kobsa y Wolfgang Nejdl (editores): *The Adaptive Web*, volumen 4321 de *Lecture Notes in Computer Science*,



- páginas 3–53. Springer Berlin / Heidelberg, 2007, ISBN 978-3-540-72078-2. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-72079-9\\_1](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-72079-9_1), 10.1007/978-3-540-72079-9\_1.
- [20] Card, Stuart K., Allen Newell y Thomas P. Moran: *The Psychology of Human-Computer Interaction*. L. Erlbaum Associates Inc., Hillsdale, NJ, USA, 1983, ISBN 0898592437.
- [21] Chandler, D.: *Semiotics: The Basics*. The Basics Series. Routledge, 2007, ISBN 9780415363754. <http://books.google.com.mx/books?id=WV6Si29I010C>.
- [22] De la Cruz Martínez, Gustavo y Fernando Gamboa Rodríguez: *Using user comprehension for modeling web navigation*. En *IADIS Interfaces and Human Computer Interaction (IHCI) 2010*, Julio 2010.
- [23] De la Cruz Martínez, Gustavo y Fernando Gamboa Rodríguez: *Using user interaction to model user comprehension on the web navigation*. *International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications*, 3:878–885, 2011.
- [24] De la Cruz Martínez, Gustavo, Ricardo Castañeda Martínez y Federico Juárez Almaraz: *Análisis del comportamiento del usuario en un sistema Web*. En *SOMI XXII Congreso de Instrumentación*, Octubre 2007.
- [25] Díez, F. J.: *Sistema Experto Bayesiano para Ecocardiografía*. Tesis de Doctorado, Dept. Informática y Automática, UNED, Madrid, 1994.
- [26] Eco, U.: *A theory of semiotics*. *Advances in semiotics*. Indiana University Press, 1979, ISBN 9780253202178. <http://books.google.com.mx/books?id=BoX04ItsuaMC>.
- [27] Eco, U.: *La estructura ausente: introducción a la semiótica*. Ensayo · Filosofía. Random House Mondadori, 2005, ISBN 9789685958875. <http://books.google.com.mx/books?id=ZDLFGgAACAAJ>.
- [28] Fu, Wai Tat y Peter Pirolli: *SNIF-ACT: a cognitive model of user navigation on the world wide web*. *Hum.-Comput. Interact.*, 22(4):355–412, Noviembre 2007, ISSN 0737-0024. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1466607.1466608>.
- [29] García Morate, Diego: *Manual de WEKA*. <http://www.metaemotion.com/diego.garcia.morate/download/weka.pdf>, 2006. accedido 2012.
- [30] Girardi, Rosario, Leandro Balby Marinho y Ismnia Ribeiro de Oliveira: *A system of agent-based software patterns for user modeling based on usage mining*. *Interacting with Computers*, 17(5):567 – 591, 2005, ISSN 0953-5438. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0953543805000263>, Social Impact of Emerging Technologies.
- [31] Hall, Mark, Eibe Frank, Geoffrey Holmes, Bernhard Pfahringer, Peter Reutemann y Ian H. Witten: *The WEKA data mining software: an update*. *SIGKDD Explor.*

- Newsl., 11:10–18, Noviembre 2009, ISSN 1931-0145. <http://doi.acm.org/10.1145/1656274.1656278>.
- [32] Health, U.S. Dept. of y Human Services: *Research-Based Web Design & Usability Guidelines*. U.S. Government Printing Office, 2006, ISBN 0160762707.
- [33] Heckerman, David: *A tutorial on learning with Bayesian networks*. En Jordan, Michael I. (editor): *Learning in graphical models*, capítulo A tutorial on learning with Bayesian networks, páginas 301–354. MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1999, ISBN 0-262-60032-3. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=308574.308676>.
- [34] Hernández Orallo, José., María José. Ramírez Quintana y Cesar. Ferrí Ramírez: *Introducción a la minería de datos*. Pearson Prentice Hall, 2004, ISBN 9788420540917. <http://books.google.com.mx/books?id=x3LuAAAAAAAJ>.
- [35] Hollink, Vera, Maarten van Someren y Bob Wielinga: *Navigation behavior models for link structure optimization*. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 17:339–377, 2007, ISSN 0924-1868. <http://dx.doi.org/10.1007/s11257-007-9030-0>, 10.1007/s11257-007-9030-0.
- [36] Jaimes, Alejandro y Nicu Sebe: *Multimodal humancomputer interaction: A survey*. *Computer Vision and Image Understanding*, 108(1-2):116 – 134, 2007, ISSN 1077-3142. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1077314206002335>, Special Issue on Vision for Human-Computer Interaction.
- [37] Juvina, Ion y Herre Oostendorp: *Individual differences and behavioral metrics involved in modeling web navigation*. *Universal Access in the Information Society*, 4:258–269, 2006, ISSN 1615-5289. <http://dx.doi.org/10.1007/s10209-005-0007-7>, 10.1007/s10209-005-0007-7.
- [38] Kalbach, J.: *Designing Web navigation*. O'Reilly Series. O'Reilly, 2007, ISBN 9780596528102. <http://books.google.com.mx/books?id=LC0cG-vFJbcC>.
- [39] Keyes, Jessica: *Software engineering handbook*. Auerbach, 2003, ISBN 9780849314797. <http://books.google.co.in/books?id=JA0pV1KVG4cC>.
- [40] Kim, Jin H. y Judea Pearl: *A computational model for causal and diagnostic reasoning in inference systems*. En *Proceedings of the Eighth international joint conference on Artificial intelligence - Volume 1, IJCAI'83*, páginas 190–193, San Francisco, CA, USA, 1983. Morgan Kaufmann Publishers Inc. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1623373.1623417>.
- [41] Kintsch, W.: *Comprehension: a paradigm for cognition*. Cambridge University Press, 1998, ISBN 9780521629867. <http://books.google.com.mx/books?id=LuycnLrY3k8C>.

- [42] Kitajima, Muneo, Marilyn H. Blackmon y Peter G. Polson: *A comprehension-based model of Web navigation and its application to Web usability analysis*. En S. McDonald, Y. Waern y G. Cockton (editores): *People and computers XIV-Usability or else!*, páginas 357–373, New York, NY, USA, 2000. Springer-Verlag.
- [43] Kitajima, Muneo, Marilyn H. Blackmon y Peter G. Polson: *Cognitive Architecture for Website Design and Usability Evaluation: Comprehension and Information Scent in Performing by Exploration*. En *Proceedings of the Human Computer Interaction International Conference 2005*, 2005. [http://autocww.colorado.edu/~blackmon/Papers/KitajimaEtAl\\_HCII2005.pdf](http://autocww.colorado.edu/~blackmon/Papers/KitajimaEtAl_HCII2005.pdf).
- [44] Kitajima, Muneo, Peter G. Polson y Marilyn H. Blackmon: *CoLiDeS and SNIF-ACT: Complementary Models for Searching and Sensemaking on the Web*. En *Proceedings of Human Computer Interaction Consortium (HCIC) Winter Workshop*, 2007. [http://autocww2.colorado.edu/~blackmon/Papers/KitajimaPolsonBlackmonHCIC3355\\_2007.pdf](http://autocww2.colorado.edu/~blackmon/Papers/KitajimaPolsonBlackmonHCIC3355_2007.pdf).
- [45] Kosala, Raymond y Hendrik Blockeel: *Web mining research: a survey*. SIGKDD Explor. Newsl., 2:1–15, Junio 2000, ISSN 1931-0145. <http://doi.acm.org/10.1145/360402.360406>.
- [46] Landauer, Thomas K y Susan T. Dutnais: *A solution to Platos problem: The latent semantic analysis theory of acquisition, induction, and representation of knowledge*. Psychological review, páginas 211–240, 1997.
- [47] Lauritzen, Steffen L. y David J. Spiegelhalter: *Local Computations with Probabilities on Graphical Structures and Their Application to Expert Systems*. Journal of the Royal Statistical Society, Series B, 50(2):157–224, 1988, ISSN 00359246. <http://dx.doi.org/10.2307/2345762>.
- [48] Linden, Greg, Brent Smith y Jeremy York: *Amazon.com Recommendations: Item-to-Item Collaborative Filtering*. IEEE Internet Computing, 7:76–80, Enero 2003, ISSN 1089-7801. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=642462.642471>.
- [49] Lucas, Peter: *Pervasive information access and the rise of human-information interaction*. En *CHI '00 extended abstracts on Human factors in computing systems*, CHI EA '00, páginas 202–202, New York, NY, USA, 2000. ACM, ISBN 1-58113-248-4. <http://doi.acm.org/10.1145/633292.633405>.
- [50] Macías, José A. y Fabio Paternò: *Customization of Web applications through an intelligent environment exploiting logical interface descriptions*. Interact. Comput., 20(1):29–47, 2008, ISSN 0953-5438.
- [51] Mandel, Theo: *The elements of user interface design*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, 1997, ISBN 0-471-16267-1.

- [52] Manning, C.D. y H. Schütze: *Foundations of statistical natural language processing*. MIT Press, 1999, ISBN 9780262133609. <http://books.google.com.mx/books?id=YiFDxbEX3SUC>.
- [53] Marchionini, Gary: *Information seeking in electronic environments*. Cambridge University Press, New York, NY, USA, 1995, ISBN 0-521-44372-5.
- [54] Marsico, Maria De y Stefano Levialdi: *Evaluating web sites: exploiting user's expectations*. International Journal of Human-Computer Studies, 60(3):381 – 416, 2004, ISSN 1071-5819. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581903001861>.
- [55] McFadden, D: *Conditional logit analysis of qualitative choice behavior*. En Zarembka, P (editor): *Frontiers in Econometrics*, páginas 105–142. Academic Press, 1974. <http://elsa.berkeley.edu/pub/reprints/mcfadden/zarembka.pdf>.
- [56] Micarelli, Alessandro, Fabio Gasparetti, Filippo Sciarrone y Susan Gauch: *Personalized Search on the World Wide Web*. En Brusilovsky, Peter, Alfred Kobsa y Wolfgang Nejdl (editores): *The Adaptive Web*, volumen 4321 de *Lecture Notes in Computer Science*, páginas 195–230. Springer Berlin / Heidelberg, 2007, ISBN 978-3-540-72078-2. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-72079-9\\_6](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-72079-9_6), 10.1007/978-3-540-72079-9.6.
- [57] Millán, F. J.: *Sistema bayesiano para modelado del alumno*. Tesis de Doctorado, U. Malaga, Malaga, 2000.
- [58] Miller, Craig S. y Roger W. Remington: *Modeling Information Navigation: Implications for Information Architecture*. Human-Computer Interaction, 19(3):225–271, 2004. [http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/s15327051hci1903\\_2](http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/s15327051hci1903_2).
- [59] Mitchell, Thomas M.: *Machine Learning*. McGraw-Hill, Inc., New York, NY, USA, 1ª edición, 1997, ISBN 0070428077, 9780070428072.
- [60] Mobasher, Bamshad: *Data Mining for Web Personalization*. En Brusilovsky, Peter, Alfred Kobsa y Wolfgang Nejdl (editores): *The Adaptive Web*, volumen 4321 de *Lecture Notes in Computer Science*, páginas 90–135. Springer Berlin / Heidelberg, 2007, ISBN 978-3-540-72078-2. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-72079-9\\_3](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-72079-9_3), 10.1007/978-3-540-72079-9.3.
- [61] Mobasher, Bamshad, Robert Cooley y Jaideep Srivastava: *Automatic personalization based on Web usage mining*. Commun. ACM, 43:142–151, Agosto 2000, ISSN 0001-0782. <http://doi.acm.org/10.1145/345124.345169>.
- [62] Mulvenna, Maurice D., Sarabjot S. Anand y Alex G. Büchner: *Personalization on the Net using Web mining: introduction*. Commun. ACM, 43:122–125, Agosto 2000, ISSN 0001-0782. <http://doi.acm.org/10.1145/345124.345165>.

- [63] Nakatani, Makoto, Adam Jatowt y Katsumi Tanaka: *Adaptive ranking of search results by considering user's comprehension*. En *Proceedings of the 4th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication, ICUIMC '10*, páginas 27:1–27:10, New York, NY, USA, 2010. ACM, ISBN 978-1-60558-893-3. <http://doi.acm.org/10.1145/2108616.2108649>.
- [64] Neapolitan, Richard E.: *Probabilistic Methods for Bioinformatics: with an Introduction to Bayesian Networks*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 2009, ISBN 0123704766, 9780080919362, 9780123704764.
- [65] Newell, Allen y Stuart K. Card: *The Prospects for Psychological Science in Human-Computer Interaction*. *Human-Computer Interaction*, 1(3):209–242, 1985. [http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/s15327051hci0103\\_1](http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/s15327051hci0103_1).
- [66] Nielsen, Jakob y Hoa Loranger: *Prioritizing Web Usability*. New Riders Publishing, Thousand Oaks, CA, USA, 2006, ISBN 0321350316.
- [67] Norman, D.A.: *The design of everyday things*. Basic Books. Basic Books, 2002, ISBN 9780465067107. [http://books.google.com.mx/books?id=w8pM72p\\_dp0C](http://books.google.com.mx/books?id=w8pM72p_dp0C).
- [68] Oostendorp, Herre van y Ion Juvina: *Using a cognitive model to generate web navigation support*. *International Journal of Human-Computer Studies*, 65(10):887 – 897, 2007, ISSN 1071-5819. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581907000845>.
- [69] Oostendorp, Herre van, Saraschandra Karanam y Bipin Indurkha: *CoLiDeS+ Pic: a cognitive model of web-navigation based on semantic information from pictures*. *Behaviour & Information Technology*, 31(1):17–30, 2012. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0144929X.2011.603358>.
- [70] Pearl, Judea y Stuart Russell: *Bayesian Networks*. En Arbib, Michael A. (editor): *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks*. MIT Press, 2ª edición, 2003. <http://www.cs.berkeley.edu/~russell/papers/hbttnn-bn.pdf>.
- [71] Pirolli, Peter: *Cognitive Models of Human-Information Interaction*, páginas 443–470. John Wiley & Sons, Inc., 2008, ISBN 9780470713181. <http://dx.doi.org/10.1002/9780470713181.ch17>.
- [72] Pirolli, Peter y Wai Tat Fu: *SNIF-ACT: a model of information foraging on the world wide web*. En *Proceedings of the 9th international conference on User modeling, UM'03*, páginas 45–54, Berlin, Heidelberg, 2003. Springer-Verlag, ISBN 3-540-40381-7. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1759957.1759968>.
- [73] Pirolli, Peter, Wai Tat Fu, Robert Reeder y Stuart K. Card: *A user-tracing architecture for modeling interaction with the world wide web*. En *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces, AVI '02*, páginas 75–83, New York, NY, USA, 2002. ACM, ISBN 1-58113-537-8. <http://doi.acm.org/10.1145/1556262.1556272>.

- [74] Pirolli, Peter y James Pitkow: *Distributions of surfers' paths through the World Wide Web: Empirical characterizations*. World Wide Web, 2:29–45, 1999, ISSN 1386-145X. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1019288403823>, 10.1023/A:1019288403823.
- [75] Pirolli, Peter L. T.: *Information Foraging Theory: Adaptive Interaction with Information*. Oxford University Press, Inc., New York, NY, USA, 1ª edición, 2007, ISBN 0195173325, 9780195173321.
- [76] Pirolli, Peter L. T. y S. K. Card: *Information Foraging*. Psychological Review, 4(106):643–675, 1999.
- [77] Polson, Peter G., Clayton Lewis, John Rieman y Cathleen Wharton: *Cognitive walkthroughs: a method for theory-based evaluation of user interfaces*. International Journal of Man-Machine Studies, 36(5):741 – 773, 1992, ISSN 0020-7373. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/002073739290039N>.
- [78] Pressman, Roger: *Software Engineering: A Practitioner's Approach*. McGraw-Hill, Inc., New York, NY, USA, 7ª edición, 2010, ISBN 0073375977, 9780073375977.
- [79] Puerta Melguizo, Mari Carmen, Uti Vidya y Herre van Oostendorp: *Seeking information online: the influence of menu type, navigation path complexity and spatial ability on information gathering tasks*. Behaviour & Information Technology, 31(1):59–70, 2012. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0144929X.2011.602425>.
- [80] Román, Pablo, Juan Velásquez, Vasile Palade y Lakhmi Jain: *New Trends in Web User Behaviour Analysis*. En Velásquez, Juan D., Vasile Palade y Lakhmi C. Jain (editores): *Advanced Techniques in Web Intelligence-2*, volumen 452 de *Studies in Computational Intelligence*, páginas 1–10. Springer Berlin / Heidelberg, 2013, ISBN 978-3-642-33325-5. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-33326-2\\_1](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-33326-2_1), 10.1007/978-3-642-33326-2.1.
- [81] Rouet, Jean François, Zsofia Vörös y Csaba Pléh: *Incidental learning of links during navigation: the role of visuo-spatial capacity*. Behaviour & Information Technology, 31(1):71–81, 2012. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0144929X.2011.604103>.
- [82] Shneiderman, Ben y Catherine Plaisant: *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*. Pearson Addison Wesley, Boston, MA, USA, 2004, ISBN 0321197860.
- [83] Smith, Sidney L. y Jane N. Mosier: *Guidelines for designing user interface software*. Informe técnico, Mitre Corporation and United States Air Force. Systems Command. Electronic Systems Division, 1986.
- [84] Souza, Clarisse Sieckenius de: *The Semiotic Engineering of Human-Computer Interaction (Acting with Technology)*. The MIT Press, 2005, ISBN 0262042207.

- [85] Souza, Clarisse Sieckenius de: *Semiotics: and Human-Computer Interaction*. The Interaction Design Foundation, Aarhus, Denmark, 2012. [http://www.interaction-design.org/encyclopedia/semiotics\\_and\\_human-computer\\_interaction.html](http://www.interaction-design.org/encyclopedia/semiotics_and_human-computer_interaction.html).
- [86] Souza, Clarisse Sieckenius de y Allen Cypher: *Semiotic engineering in practice: re-designing the CoScripter interface*. En *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces, AVI '08*, páginas 165–172, New York, NY, USA, 2008. ACM, ISBN 978-1-60558-141-5. <http://doi.acm.org/10.1145/1385569.1385597>.
- [87] Souza, Clarisse Sieckenius de, Carla Faria Leitão, Raquel Oliveira Prates y Elton José da Silva: *The semiotic inspection method*. En *Proceedings of VII Brazilian symposium on Human factors in computing systems, IHC '06*, páginas 148–157, New York, NY, USA, 2006. ACM, ISBN 1-59593-432-4. <http://doi.acm.org/10.1145/1298023.1298044>.
- [88] Stephens, D.W. y J.R. Krebs: *Foraging theory*. Monographs in behavior and ecology. Princeton University Press, 1986, ISBN 9780691084428. <http://books.google.com.mx/books?id=DVxvu-qDsaIC>.
- [89] Tidwell, Jenifer: *Designing Interfaces*. O'Reilly Media, Inc., 2005, ISBN 0596008031.
- [90] Treu, Siegfried: *User interface evaluation: a structured approach*. Plenum Press, New York, NY, USA, 1994, ISBN 0-306-44746-0.
- [91] *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0, W3C World Wide Web Consortium*. <http://www.w3.org/TR/200X/REC-WCAG20-20081211/>, Diciembre 2008. consultado 18 de enero de 2012.
- [92] Weinreich, Harald, Hartmut Obendorf, Eelco Herder y Matthias Mayer: *Not quite the average: An empirical study of Web use*. ACM Trans. Web, 2:5:1–5:31, Marzo 2008, ISSN 1559-1131. <http://doi.acm.org/10.1145/1326561.1326566>.
- [93] Wickens, C D y J G Hollands: *Engineering psychology and human performance*. Prentice Hall, 3ª edición, 2000. [http://webfiles.ita.chalmers.se/~mys/HumanAspects/WickensHollands/0\\_Wickens\\_Index\\_Preface.pdf](http://webfiles.ita.chalmers.se/~mys/HumanAspects/WickensHollands/0_Wickens_Index_Preface.pdf).
- [94] Wong, W., H. Stelmaszewska, B. Barn, N. Bhimani y S. Barn: *JISC User Behaviour Observational Study: User Behaviour in Resource Discovery. Final Report*. Informe técnico, JISC, Noviembre 2009. <http://www.jisc.ac.uk/media/documents/publications/programme/2010/ubirdfinalreport.pdf>.
- [95] Zecchetto, Victorino: *Seis semiólogos en busca del lector: Saussure, Peirce, Barthes, Greimas, Eco, Verón*. Colección Signo. Ciccus, 1999, ISBN 9789879749821. <http://books.google.com.mx/books?id=06YmSgAACAAJ>.

