

**PI121-05**

# RUNA-KAMACHIY

MODELO DE INTEGRACIÓN CONCEPTUAL ENTRE *HCI* Y  
*ADAPTACIÓN* ORIENTADO A LA USABILIDAD DE LAS  
INTERFACES DE USUARIO

LUISA FERNANDA BARRERA LEÓN

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN  
BOGOTÁ, D.C.  
2013

PI121-05

***RUNA-KAMACHiy***: MODELO DE INTEGRACIÓN CONCEPTUAL ENTRE HCI  
Y *ADAPTACIÓN* ORIENTADO A LA USABILIDAD DE LAS INTERFACES DE  
USUARIO

**Autor:**

Luisa Fernanda Barrera León

MEMORIA DEL TRABAJO DE GRADO REALIZADO PARA CUMPLIR UNO  
DE LOS REQUISITOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
MAGÍSTER EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

**Directora:**

Ing. Angela Carrillo Ramos PhD

**Asesor:**

Ing. Leonardo Flórez Valencia PhD

**PI121-05**

***RUNA-KAMACHIY*: MODELO DE INTEGRACIÓN CONCEPTUAL ENTRE HCI  
Y ADAPTACIÓN ORIENTADO A LA USABILIDAD DE LAS INTERFACES DE  
USUARIO**

**Autor:**

Luisa Fernanda Barrera León

MEMORIA DEL TRABAJO DE GRADO REALIZADO PARA CUMPLIR UNO  
DE LOS REQUISITOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE:  
MAGÍSTER EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

**Director**

Ing. Angela Carrillo Ramos PhD

**Comité de Evaluación del Trabajo de Grado**

Ing. Jaime Pavlich-Mariscal, Ph.D.

Ing. Demetrio Arturo Ovalle C., Ph.D.

**Página web del Trabajo de Grado**

<http://pegasus.javeriana.edu.co/~PI121-05-HCI-AdaptUser/>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
MAESTRÍA EN INGENIERIA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN  
BOGOTÁ, D.C.  
Diciembre, 2013

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
CARRERA DE INGENIERIA DE SISTEMAS**

**Rector Magnífico**

Joaquín Emilio Sánchez García S.J.

**Decano Académico Facultad de Ingeniería**

Ingeniero Jorge Luis Sánchez Téllez

**Decano del Medio Universitario Facultad de Ingeniería**

Padre Sergio Bernal Restrepo S.J.

**Director Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación**

Ingeniero Enrique González Guerrero

**Director Departamento de Ingeniería de Sistemas**

Ingeniero Rafael Andrés González Rivera

**Artículo 23 de la Resolución No. 1 de Junio de 1946**

*“La Universidad no se hace responsable de los conceptos emitidos por sus alumnos en sus proyectos de grado. Sólo velará porque no se publique nada contrario al dogma y la moral católica y porque no contengan ataques o polémicas puramente personales. Antes bien, que se vean en ellos el anhelo de buscar la verdad y la Justicia”*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Agradezco primero a DIOS porque me dio el don de la vida y también por darme a mis padres Gilma León Castro y Milton Barrera Lombana. Doy gracias a mis padres porque una vez más me han apoyado para completar un logro en mi vida academia; a mis hermanas y sobrina porque me impulsaron a terminar esta tesis.*

*A mi segunda Madre, Angela Carrillo Ramos, por creer siempre en mí y darme su confianza, su respeto, su guía y su amistad. Por último, a Leonardo Flórez por darme su amistad, conocimiento, fuerza y paciencia.*

## Contenido

---

Lista de Figuras .....	ix
Lista de Tablas.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	2
1. Objetivo General .....	2
2. Objetivos Específicos .....	2
3. Metodología.....	2
III. ESTADO DEL ARTE .....	3
1. Marco Teórico .....	3
1.1. Adaptación.....	3
1.2. Interacción Hombre-Máquina ( <i>HCI</i> ).....	4
1.3. Usabilidad.....	6
2. Trabajos Relacionados (General) .....	8
3. Trabajos Relacionados (Radiología) .....	9
IV. CONTRIBUCIONES .....	10
1. TAXONOMÍA DE HCI, ADAPTACIÓN Y USABILIDAD .....	10
1.1. Taxonomía <i>Adaptación</i> .....	10
1.2. Taxonomía <i>HCI</i> .....	11
1.3. Taxonomía Usabilidad.....	13
2. RUNA-KAMACHIY: MODELO DE INTEGRACIÓN CONCEPTUAL .....	20
2.1. Matriz de Integración Conceptual Bibliografía .....	20
2.1.1. Modelo Interfaz de Usuario.....	20
2.1.1.1. Interacciones.....	20
2.1.1.2. <i>Layout</i> .....	22
2.1.1.3. Descripción del Usuario (Factores Humanos).....	22
2.1.2. Principios Cognitivos .....	24
2.1.2.1. Análisis Cognitivo de Tareas.....	24
2.1.2.2. Principios de la Gestalt.....	24
2.1.3. Diseño Interfaz de Usuario .....	25

2.1.4.	Plasticidad.....	25
2.2.	Matriz de Integración Conceptual Propuesta.....	27
2.2.1.	<i>Adaptación en HCI</i> .....	27
2.2.1.1.	Perfil estático.....	27
2.2.1.2.	Perfil dinámico.....	27
2.2.1.3.	Modelo de Tareas- Usuario.....	28
2.2.1.4.	Contexto de Uso.....	28
2.2.2.	<i>HCI en Adaptación</i> .....	29
2.2.2.1.	Diseño de Interacciones.....	29
2.2.2.2.	Análisis Cognitivo de Tareas.....	29
2.2.2.3.	Diseño Interfaz de Usuario.....	29
3.	MODELO DE ADAPTACIÓN.....	30
3.1.	Modelo de Dominio.....	30
3.2.	Modelo de Usuario.....	31
3.3.	Modelo de Interfaz.....	33
3.4.	Modelo de Contexto.....	34
4.	TUKUCHIY: SISTEMA GENERADOR DINÁMICO DE INTERFACES DE USUARIO ADAPTADAS.....	35
4.1.	Arquitectura.....	36
4.2.	Sistema de Reglas.....	38
5.	CASO DE ESTUDIO (MIDIKU).....	48
5.1.	Escenario.....	48
5.2.	Desarrollo Midiku.....	50
5.3.	Validación Inicial de Midiku (Mockup).....	53
5.4.	Validación final <i>Midiku</i> .....	56
5.5.	Aplicación de Tukuchiy en un entorno Educativo.....	57
V.	CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.....	58
VI.	REFERENCIAS.....	61
VII.	ANEXOS.....	66
	Anexo I. Propuesta Trabajo de Grado.....	66
	Anexo II. Estado del Arte.....	66

Anexo III. Taxonomía.....	66
Anexo IV. Modelo de Adaptación.....	66
Anexo V. Formalización Modelo de Adaptación .....	66
Anexo VI. Pruebas Tukuchiy y Midiku .....	66
Anexo VII. <i>Mockup</i> Midiku .....	66

## Lista de Figuras

<i>Figura 1. Áreas que componen a HCI [13].....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 2. Taxonomía Parte I- Adaptación .....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 3. Taxonomía Parte II - HCI .....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 4. Proceso Priorización Estática.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 5. Caracterización de los tipos de usuario (tomado de [35]) .....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 6. Priorización Dinámica .....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 7. Matriz de Integración Conceptual.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 8. Matriz de Integración Conceptual Propuesta. ....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 9. Modelo de Dominio .....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 10. Perfil de Usuario .....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 11. Perfil de Interfaz.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 12. Perfil de Contexto.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 13. Arquitectura Tukuchiy.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 14. Arquitectura – Controlador.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 15. Arquitectura – Vista .....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 16. Arquitectura - Lógica .....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 17. Interfaz Base Tukuchiy .....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 18. Regla adaptación de ayudas.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 19. Tooltip detallado (Novato) .....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 20. Tooltip simplificado (Experto).....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 21. Regla preferencias de colores .....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 22. Preferencia de colores.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 23. Ejemplo regla condiciones físicas usuario .....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 24. Fragmento transformación colores (Daltonismo) .....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 25. Paletas según tipo de daltonismo .....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 26. Regla escala de botones .....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 27. Regla ampliación de botones.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 28. Cambios en Paleta de Colores .....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 29. Combinación de colores .....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 30. Regla Intencionalidad.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 31. Regla intencionalidad de elementos .....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 32. Interfaz Base Midiku.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 33. Inicio Midiku .....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 34. Tooltips Midiku.....</i>	<i>52</i>

<i>Figura 35. Paleta Colores Daltonismo</i> .....	52
<i>Figura 36. Estilos en Midiku</i> .....	53
<i>Figura 37. Preferencias colores</i> .....	53
<i>Figura 38. Fragmento del Mockup</i> .....	54
<i>Figura 39. Resultados Mockup-QUIS</i> .....	55
<i>Figura 40. Resultados SUS. - Experta Visualización</i> .....	57
<i>Figura 41. Resultado QUIS - Experta Visualización</i> .....	57
<i>Figura 42. Interfaz Tukuchiy-Idukay</i> .....	58

## Lista de Tablas

<i>Tabla 1. Resumen Trabajos Relacionados.</i> .....	8
<i>Tabla 2. Trabajos Relacionados Radiología</i> .....	9
<i>Tabla 3. Categorías y Criterios de Usabilidad</i> .....	14
<i>Tabla 4. Representación BNF preferencias</i> .....	33
<i>Tabla 5. Priorización de Reglas (desarrollo Tukuchiy)</i> .....	47
<i>Tabla 6. Perfiles de Midiku</i> .....	51
<i>Tabla 7. Pantallas Midiku (Perfil 1 y Perfil 2)</i> .....	51
<i>Tabla 8. Mockup Midiku</i> .....	54
<i>Tabla 9. Cuestionario SUS</i> .....	56

## ABSTRACT

Usability is a quality attribute that applies to interactions and user interfaces presentation in information systems (*IS*). It should not only take into account the design, interaction and content of user interfaces (specific aspects of *HCI* domain). However, it is another aspect that is not always taken into account. That aspect is that each user is different, with mental models to understand that they are different from others (basic *Adaptation* principles), this makes the use of interfaces can be easy for some and a difficult and tedious task to others. Then the above reflects there is a conceptual gap between the areas of *HCI* and *Adaptation*, and their integration may satisfy certain criteria of usability and improve the interaction between the *SI* and its final users. To achieve this integration was created *Runa-Kamachiy*, this are a project that aimed to construct a model of conceptual integration of *HCI* and *Adaptation* techniques in order to support usability in *SI* focused on User Interfaces arises. The model was validated through a system that generates dynamic adaptative user interfaces (*Tukuchiy*) in the context of clinical radiology (application called *Midiku*).

## RESUMEN

La usabilidad es un atributo de calidad que se aplica tanto en las interacciones como en la presentación de las interfaces de usuario con los sistemas de información (*SI*). No sólo se debe tener en cuenta el diseño, la interacción y el contenido de las interfaces de usuario (aspectos propios del dominio de *HCI*); existe otro aspecto que no siempre es tenido en cuenta y es que cada usuario es diferente, tiene modelos mentales para comprender que son diferentes a los de otros (principio básico de *Adaptación*); esto hace que el uso de interfaces pueda ser sencillo para algunos y una tarea complicada y tediosa para otros. Lo anterior refleja que existe una brecha conceptual entre las áreas de *HCI* y *Adaptación*, y que su integración podría cumplir con ciertos criterios de usabilidad y mejorar la interacción entre los *SI* y sus usuarios. Para lograr dicha integración se plantea *Runa-Kamachiy*, un proyecto que busca la generación de un modelo de integración conceptual de técnicas de *HCI* y *Adaptación* con el fin de apoyar la usabilidad de *SI*, centrada en Interfaces de Usuario; dicho modelo se validó a través de un sistema de generación dinámica de interfaces (*Tukuchiy*) en el contexto de radiología clínica (aplicación denominada *Midiku*).

## RESUMEN EJECUTIVO

La usabilidad, en sistemas de información (*SI*) es un requerimiento no funcional, el cual se enfoca en mejorar, a nivel de presentación y lógica, la interacción del usuario final con un sistema. La usabilidad se ha trabajado desde diferentes enfoques: *i*) a nivel de lógica, con el fin de mejorar aspectos como la eficiencia que afectan el rendimiento del usuario al realizar sus tareas en un sistema; y *ii*) a nivel de presentación orientado a mejorar aspectos, como la satisfacción de usuario, que afectan la continuidad de uso del sistema por parte del usuario final. El presente proyecto se centró en la influencia que posee la usabilidad en los aspectos de presentación en un *SI*, la cual se refleja en el manejo de la Interfaz de Usuario (*IU*). El objetivo de la interfaz de usuario es hacer que, para el usuario la interacción con un *SI* sea lo más sencilla y natural posible; además, que los usuarios del sistema puedan cumplir sus tareas de una manera más eficiente[1]. Es importante resaltar que la interfaz de usuario, según Negroponte [2], es el lugar donde los bits y las personas se unen, por lo cual es relevante la investigación y la mejora sobre la misma.

Existen algunas áreas en informática que se enfocan en lograr el cumplimiento de los diferentes aspectos que componen la usabilidad de *IU*. Una de estas áreas es la Interacción Hombre-Máquina (*HCI*) que desde la década de los 80s ha profundizado en la necesidad de hacer que la interacción del usuario con los *SI* sea natural y cercana a la realidad. Adicionalmente, *HCI* ha integrado otras áreas de conocimiento, como la psicología y la ergonomía, con el fin de crear conceptos, leyes y estándares para la creación de los diseños adecuada de las interfaces de usuario. Dichos estándares son aplicados específicamente en etapas de diseño, con un conocimiento estático del usuario. Otra de las áreas que se enfocan en mejorar la usabilidad de *SI* es la *Adaptación*; esta área se centra en el conocimiento dinámico del usuario (*e.g.*, preferencias, contexto, entre otros) con el fin de ajustar la presentación, contenido y navegación de los *SI* según características individuales de cada usuario. Dadas las características de estas dos áreas, se detectó la necesidad de integrar los formalismos dados por *HCI* junto con el dinamismo dado por *Adaptación* para lograr la mejora de la usabilidad de las interfaces de usuario, tanto en tiempo de diseño como en tiempo de ejecución.

Para lograr unir estas dos áreas, *Adaptación* y *HCI*, se creó un modelo llamado ***Runa-Kamachiy***; dicho modelo tiene como objetivo la integración conceptual de ambas áreas. Para la realización de ***Runa-Kamachiy***, fue necesario en primera medida la creación de tres taxonomías: *i*) taxonomía con los conceptos de *Adaptación* orientados a las interfaces de usuario; *ii*) taxonomía con los conceptos de *HCI* relacionados con el proceso diseño de interfaces y estándares de diseño usados en las mismas; por último, *iii*) una taxonomía con los criterios de usabilidad que se tuvieron en cuenta en el proyecto. Es importante resaltar que de la taxonomía de usabilidad se generó una propuesta de cómo podría ser proceso de priorización de los mismos; se propuso el uso de dicha priorización tanto en etapa de diseño

como en tiempo de ejecución. Adicionalmente, con base en el modelo de integración conceptual se creó un modelo de adaptación en el cual se crearon tres perfiles (usuario, contexto e interfaz). De dichos perfiles se resalta el perfil de interfaz, en él se encuentran especificados aquellos elementos de la interfaz a los cuales se les dan características adicionales (*e.g.*, intencionalidad) para lograr su adaptación según los otros dos perfiles establecidos.

Adicionalmente, se desarrolló un *framework* llamado **Tukuchiy** con el cual se generan dinámicamente interfaces de usuario adaptadas y que en tiempo de ejecución apoyan al usuario a mantener los estándares de diseño dados por *HCI*. **Tukuchiy** toma en cuenta diferentes aspectos del usuario como: problemas visuales (daltonismo y miopía); nivel de uso (novato o experto); aspectos de contexto para hacer más visibles los elementos de la interfaz bajo ciertas condiciones de iluminación, entre otros. Lo anterior, con el fin de transformar la interfaz en tiempo de ejecución para que el usuario la pueda manipular bajo sus características individuales y sea natural su uso para el mismo. Con el fin de probar que **Tukuchiy**, usando los modelos de adaptación generados con base en **Runa-Kamachiy**, logra la mejorar la usabilidad de las interfaces de usuario se construyó un prototipo funcional (**Midiku**) en el área de radiología clínica. **Midiku** es un sistema de visualización que busca apoyar a los radiólogos en el diagnóstico de imágenes clínicas; por medio de esta aplicación se pretendió mejorar la usabilidad adaptando las interfaces para que se ajustaran a las características individuales de los radiólogos.

Por último, para la validación de **Tukuchiy**, se realizaron pruebas tanto funcionales como teóricas. Para estas pruebas se establecieron algunas hipótesis que fueron examinadas bajo las funcionalidades del *framework*; adicionalmente, algunas de dichas hipótesis fueron analizadas a nivel conceptual bajo el estudio de trabajos relacionados que mostraban resultados de cómo los estándares de *HCI* y los conceptos de *Adaptación*, apoyan la usabilidad de las interfaces de usuario. Por último, para la validación del prototipo (**Midiku**) se realizaron dos encuestas estándar para evaluación de la usabilidad de interfaces, *SUS* y *QUIS*. Es importante resaltar que una de las encuestas (*QUIS*) se les realizó a algunos radiólogos del Hospital San Ignacio, quienes realizaron una primera evaluación del diseño de la interfaz de **Midiku**; sin embargo, el prototipo funcional fue probado por una experta en visualización con la cual se realizaron ambas encuestas.

Es importante resaltar que **Runa-Kamachiy** se desarrolló en conjunto con un proyecto del Departamento de Ingeniería de Sistemas de la Pontificia Universidad Javeriana. En conjunto con dicho proyecto se logró la publicación de un artículo en una conferencia internacional [4], otros dos artículos que se encuentran actualmente en revisión [5][6] y por último, dos artículos se están desarrollando actualmente [7]. Adicionalmente, se realizó el registro de software del *framework* **Tukuchiy** junto con otro prototipo realizado con el fin de validar el *framework* en el área de educación, llamado **Tukuchiy-Idukay**.



## I. INTRODUCCIÓN

---

Según la ISO 9241-11, la usabilidad se define como: “el grado en el que un producto puede ser utilizado por usuarios específicos para alcanzar las metas específicas con efectividad, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso especificado” [8]. La usabilidad es un requerimiento no funcional que puede ser abordado, dentro del proceso de desarrollo de software, desde dos ángulos: lógica y/o presentación. El presente proyecto se enfocará únicamente en la presentación, en cumplir con algunos de los criterios que hacen parte de la usabilidad y que están enfocados en los aspectos de las interfaces de usuario. Existen diferentes áreas de estudio que encauzan sus investigaciones hacia dicho mejoramiento en la interacción que existe entre el usuario y el sistema; sin embargo, para el presente trabajo sólo se exploraron dos de ellas: *HCI* y *Adaptación*.

La Interacción Hombre-Máquina (*HCI*) desde la década de los 80, ha buscado mejorar el intercambio de información entre las personas y las computadoras, haciendo que dicha interacción sea más natural y cercana a la realidad del usuario. A esta área se han integrado otras, centradas en el usuario, como lo son la psicología, la ergonomía, *etc.* La integración de éstas ha llevado a la creación de métodos formales que son utilizados, únicamente, en las primeras etapas del ciclo de vida en el desarrollo de *IU* (Interfaz de Usuario). Aunque esta área está centrada en el usuario, como se resaltó anteriormente, sólo se tiene en cuenta al usuario en tiempo de diseño, pero se olvida que el usuario tiene preferencias y un contexto que puede cambiar en tiempo de ejecución del sistema. Estos cambios o características dinámicas del usuario son aspectos que sí se tienen en cuenta en *Adaptación*, otra de las áreas que trabajan en el mejoramiento de la usabilidad. La *Adaptación* dirige sus esfuerzos a modificar la presentación, navegación y el contenido, según las características del usuario (*e.g.*, preferencias, contexto, gustos, *etc.*); no obstante, ésta no tiene en cuenta que existen métodos/técnicas (reglas de diseño de interfaces) que sirven para que la interacción con el usuario sea eficiente, eficaz y satisfactoria. Es aquí donde surge la necesidad de generar una solución que logre integrar el perfil del usuario y de su contexto junto con los métodos dados por *HCI*, orientados a mejorar la interacción del usuario con el sistema. Lo anterior con el fin de hacer más natural la interacción del usuario con el sistema.

***Runa Kamachiy*** es un modelo de integración conceptual que busca solucionar esa brecha conceptual entre *HCI* y *Adaptación*. Para la validación de ***Runa Kamachiy*** se creó un sistema de generación dinámica de interfaces (denominado ***Tukuchiy***) que provee tres servicios principales: creación de una interface de usuario inicial que implementa principios de *HCI*; la base de un sistema de filtros para la *Adaptación* de la interfaz según un perfil de usuario; por último, un sistema de funciones/métodos que permiten mantener los principios de *HCI* en tiempo de ejecución. Estos servicios están orientados a realizar cambios en la interface de usuario, para diferentes tipos de aplicaciones, según las características, preferencias y contexto de sus usuarios. Dada la generalidad de ***Runa Kamachiy*** se desarrolló un prototipo

funcional denominado **Midiku** en el contexto de radiología clínica y será validado por un radiólogo.

En el presente documento se presenta el resultado del desarrollo de **Runa-Kamachiy**: Modelo de integración conceptual entre *HCI* y *Adaptación* orientado a la usabilidad de interfaces de usuario. En la primera sección se muestra una descripción de **Runa Kamachiy**, problemática y descripción del contexto. En la sección II se presenta un resumen del estado del arte realizado: conceptos base y trabajos relacionados. En el capítulo de contribuciones, sección III, se describe cómo fue el desarrollo del proyecto, los modelos generados y la validación de **Runa-Kamachiy** a través de **Tukuchiy**. Por último, se presentan las conclusiones y el trabajo futuro.

---

## II. OBJETIVOS

---

En esta sección se realiza una descripción de los objetivos del proyecto y de la metodología usada para lograr el cumplimiento de dichos objetivos.

### 1. Objetivo General

Generar un modelo de integración conceptual de técnicas de *HCI* y *Adaptación* con el fin de apoyar la usabilidad de sistemas, centrada en Interfaces de Usuario, validado a través de un sistema de generación dinámica de interfaces en un contexto de radiología clínica.

### 2. Objetivos Específicos

A continuación se listan los objetivos específicos realizados para la ejecución del proyecto:

- Proponer una taxonomía que articule las técnicas, modelos y otros formalismos existentes en *Adaptación* y *HCI* para la integración de estas dos líneas de investigación con el fin de apoyar la usabilidad de sistemas, centrada en Interfaces de Usuario.
- Definir un modelo de integración conceptual de correspondencias entre técnicas de *HCI* y *Adaptación*, con base en la taxonomía propuesta.
- Diseñar un sistema de generación dinámica de interfaces de usuario, cuyas interfaces apliquen el modelo de integración propuesto.
- Validar el modelo mediante el análisis de las interfaces generadas por un prototipo del sistema diseñado en un contexto de radiología clínica.

### 3. Metodología

Con respecto a la metodología usada para el desarrollo del proyecto, en el Anexo I, se puede ver cuáles fueron las etapas y las metodologías que se integraron (Scrum y LUCID) para el desarrollo de Runa-Kamachiy.

### III. ESTADO DEL ARTE

---

#### 1. Marco Teórico

Para el desarrollo del proyecto fue necesaria la definición de tres conceptos centrales: *Adaptación*, *HCI* y Usabilidad. Cada uno de estos conceptos serán presentados a continuación.

##### 1.1. Adaptación

La *Adaptación* es un concepto que se relaciona normalmente a la idea de modificar un algo en busca de acoplarlo a un entorno diferente al habitual. Específicamente, en la Ingeniería de Software se relaciona con la necesidad de realizar una transformación a los servicios o datos ofrecidos por un dispositivo, según el entorno en el que se encuentre o las características del mismo. La *Broad Agency Announcement on Self Adaptive Software* asociada a *DARPA* presentó en 1997, una definición de Software Adaptado [9] que indica que “*es el que evalúa su comportamiento y los cambios del mismo, cuando la evaluación indica que éste no está cumpliendo con los objetivos del sistema, o cuando una mejor funcionalidad o desempeño es posible*”. Habitualmente ese mejor desempeño o funcionamiento está unido a las características específicas del usuario y de su contexto.

La *Adaptación* genera dos tipos de sistemas [10]: *i) Adaptativos*: son estáticos, la *Adaptación* del sistema se realiza antes de ejecutarlo; o *ii) Adaptables*: son dinámicos, la *Adaptación* del sistema se realiza en tiempo de ejecución tomando en cuenta características del entorno y del usuario; este tipo de sistemas están determinados por eventos en tiempo de ejecución. La *Adaptación*, en otras palabras, se preocupa por hacer que los sistemas cambien según las características específicas del usuario que lo está utilizando, haciendo posible que sub-atributos de calidad como la satisfacción y la atracción del usuario hacia el sistema sean posibles de lograr. Para lograr la *Adaptación* se tiene dos tipos: *i) Perfilamiento*: modifica componentes (no estáticos) del sistema con base en características, gustos, preferencias, entre otros aspectos relacionados con diferentes tipos de usuario; o *ii) Enriquecimiento*: modifica variables/parámetros del sistema (enriquecerlo) para determinar el comportamiento del sistema, enfocándose en la información presentada más no en la presentación de la misma.

La *Adaptación*, para lograr su objetivo de hacer que los sistemas cambien según las características de sus usuarios, se vale de diferentes modelos; dichos modelos varían según las necesidades del sistema; sin embargo, para el presente proyecto se tuvieron en cuenta: Modelo de Usuario, Modelo de Interfaz y Modelo de Contexto de Uso. Para lograr la creación de *SI* adaptativos es necesario la creación de modelos que integren todos aquellos aspectos relacionados con el entorno, el usuario, el dispositivo y el objetivo de dicho sistema. A continuación se dará una breve definición de cada uno de los modelos usados para la *Adaptación* en *SI*.

### 1.1.1. Modelo Usuario

El modelo de usuario, según [11], debe encargarse de proporcionar los medios para realizar una *Adaptación* implícita (sin intervención directa del usuario). En el Modelo de usuario se define el perfil de usuario. En un perfil de usuario se representan los gustos, necesidades y preferencias de cada uno de los usuarios de un sistema. Los perfiles de usuario tienen dos partes: *i*) una estática, que maneja los datos del usuario que tienden a ser constantes en el tiempo (*e.g.*, nombre, fecha de nacimiento, características físicas, entre otros); y *ii*) una parte dinámica, que es actualizada con base en históricos de interacción con el sistema.

### 1.1.2. Modelo Contexto de Uso

Este modelo tiene el fin de representar el entorno en el que se encuentra el usuario del sistema. Para la creación de este modelo se tienen en cuenta aspectos como: características de dispositivo (*e.g.*, perfil CC/PP - Composite Capability/Preferences Profiles -), características ambientales (*e.g.*, clima, estación del año, entre otras), características sociales (*e.g.*, costumbres), localización, entre otras.

### 1.1.3. Modelo de Despliegue

En este modelo se expresa cómo será la forma en que se le despliegue la información adaptada o los servicios adaptados al usuario. Existen tres tipos de despliegue:

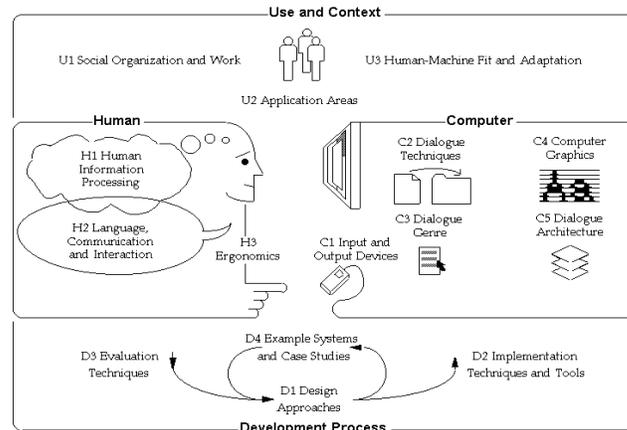
- *Al Contenido*: se realiza una modificación a los datos para que el usuario sólo obtenga información pertinente y ajustada a su perfil.
- *A la Presentación*: modificación de la interfaz para satisfacer las necesidades del usuario, interfaz flexible y modificable.
- *A la Navegación*: se realizan modificaciones al modo en que el usuario interactúa con el sistema. Por ejemplo, la cantidad de clics que debe dar para usar un servicio puede ser reducido según las habilidades del usuario.

Los conceptos definidos anteriormente son los relacionados con el *Adaptación* que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del proyecto. A continuación se presentan los conceptos usados del área de *HCI*.

## 1.2. Interacción Hombre-Máquina (*HCI*)

*HCI* es un área de investigación que surgió en la década de 1980, inicialmente como un área de especialidad en ciencias de la computación. *HCI* se ha expandido rápidamente y de manera constante durante tres décadas, que atrae a profesionales de otras disciplinas y la incorporación de diversos conceptos y enfoques [12]. En gran medida, *HCI* es ahora una colección de agregados “distintos” campos de la investigación y la práctica de la informática, centrados en los humanos. Dado que no existe una definición integrada de *HCI*, debido a la amplia gama de áreas que la conforman, se planteó una caracterización de la misma [13]: “*la*

*Interacción Humano-Computador es una disciplina que estudia el diseño, evaluación e implementación de sistemas informáticos interactivos para uso humano y con el estudio de los fenómenos más importantes que los rodean*”. Las áreas que componen a *HCI* se pueden ver en la Figura 1, y serán explicadas a continuación.



**Figura 1. Áreas que componen a HCI [13]**

Como se puede ver en la Figura 1, son varias las áreas que integran *HCI*. Sin embargo, para el presente proyecto únicamente se tuvieron en cuenta seis áreas [13]: *i*) Procesamiento de la información (*H1*), que representa las características del ser humano como un procesador de información; *ii*) Lenguaje, Comunicación e Interacción (*H2*), en el que se trabaja el lenguaje como medio de comunicación e interfaz, que tiene en cuenta aspectos del lenguaje como la sintaxis, la semántica y la pragmática; *iii*) Ergonomía (*H3*), que son las características antropométricas y fisiológicas de las personas y su relación con el hardware, el software y su entorno (ambiente de trabajo, social, *etc.*), entre estas características se tienen en cuenta son los efectos sensoriales y de percepción (percepción del color en las pantallas) y otras tecnologías de visualización, legibilidad, el diseño de la pantalla, entre otras; *iv*) Técnicas de diálogo (*C2*), la arquitectura de software y las técnicas básicas para interactuar con los seres humanos, como las entradas y salidas de diálogo; *v*) Gráficos por computador (*C4*), conceptos básicos de gráficos que son especialmente útiles para trabajar con *HCI*; y por último, *vi*) Proceso de desarrollo (*D*) que está relacionado con la metodología y la práctica del diseño de la interfaz. Es importante resaltar que de las áreas mencionadas anteriormente se tomaron sólo algunos conceptos/métodos/técnicas; lo anterior, debido a que son áreas amplias y sólo se tuvieron en cuenta aquellos relacionados con el diseño de las interfaces de usuario.

Con el fin de lograr una conexión formal entre la usabilidad y *HCI*, se seleccionaron específicamente cinco leyes las cuales fueron: *Ley de Fitts* [16], *Ley de Steering* [17], *Ley de Hick* [16], *Ley de Miller* [18] y *Ley Practice* [19].

LEY	DEFINICIÓN
<b>Fitts</b>	<p>Predice el tiempo que se necesita para acceder a un objetivo (<i>e.g.</i>, golpear, presionar, seleccionar, <i>etc.</i>) con un movimiento. <i>Fitts</i> crea una relación entre la dificultad de una tarea y el tiempo de movimiento [14], como se muestra en la ecuación (1).</p> $ID = \log_2(2A/W) \quad (1)$
<b>Steering</b>	<p>Establece que el tiempo en el que una persona se mueve en un túnel inversamente proporcional al ancho del mismo [15], lo cual se ve reflejado en la ecuación (2).</p> $T = a + b (A/W) \quad (2)$
<b>Hick's</b>	<p>Indica el tiempo que le durará una persona en tomar una decisión, dependiendo del número de opciones que se le brindan [14], como se ve en la ecuación (3).</p> $T = b * \log_2(n + 1) \quad (3)$
<b>Miller</b>	<p>Estipula que el número 7 es la aproximación del número de opciones entre las cuales las personas deciden con mayor facilidad y el número de estímulos que recuerdan a corto plazo [16]. Los hallazgos alrededor de esta teoría indican que el número 7 + o - 2 es la cantidad de estímulos que se debe brindar a los usuarios para que interactúen de la manera más eficiente con las interfaces.</p>
<b>Practice</b>	<p>Predice el tiempo o velocidad con que se llevará a cabo una tarea basado en un número de intentos pasados [17]. Su formulación es la mostrada en la ecuación (4).</p> $TN = TA + b (N + N0)-a \quad (4)$

La explicación de cada una de las fórmulas asociadas a las leyes descritas anteriormente, puede verse en el Anexo III.

### 1.3. Usabilidad

La usabilidad según la ISO 9241-11 es: “*el grado en que un producto puede ser usado por determinados usuarios para lograr sus propósitos con eficacia, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso específico*”. El concepto de usabilidad no sólo puede ser definido como atributo de calidad de un producto, sino consecuentemente, como metodología de diseño y evaluación. Existen algunas áreas especializadas que investigan sobre el tema de usabilidad como lo son: Ingeniería de la Usabilidad (UE, Usability Engineering), Diseño Centrado en el Usuario (UCD, User Centered Design), *HCI* (Human Computer-Interaction) y *Adaptación*, entre otras; cada una de estas áreas plantea un conjunto de procesos y metodologías que aseguren empíricamente el cumplimiento de los niveles de usabilidad requeridos para el producto [18]. Es importante resaltar, que la usabilidad de las interfaces de usuario es el punto de unión seleccionado para la integración de *HCI* y *Adaptación* en Runa-Kamachiy.

#### 1.3.1. Dimensiones de la usabilidad

Para darle una mayor claridad al concepto de usabilidad, Hassam *et al.* [18] definen la usabilidad en cuatro dimensiones:

- *Empírica*: la usabilidad puede ser medida y evaluada, no es un concepto abstracto, subjetivo o carente de significado. La evaluación de la usabilidad se realiza por medio de *test* de usuarios, donde se cuantifica objetivamente cómo se enfrentan los usuarios a las tareas interactivas, al diseño, al número de errores o midiendo el tiempo de respuesta; adicionalmente, se realiza una evaluación subjetiva o percibida, de cómo los usuarios le dan un valor al grado de satisfacción. Este último punto, la evaluación subjetiva, es lo que le da a la usabilidad una dimensión empírica y refleja su naturaleza subjetiva (experiencia de usuario).
- *Dependiente*: según Hassam *et al.* [18], para el usuario la utilidad es la capacidad que percibe del producto para resolver sus necesidades o deseos. Sin embargo, que la usabilidad y la utilidad sean conceptos distintos no implica que se puedan separar o tratar por separado. Como lo expresa Dillon *et al.* [19], “*la usabilidad representa el grado en el que el usuario puede explotar la utilidad*”. No obstante, la dependencia va en ambos sentidos, dado que: un producto será usable en la medida que el beneficio que se obtenga de usarlo (utilidad) justifique el esfuerzo necesario para su uso (eficiencia, aprendizaje, memoria, etc.).
- *Relativa*: la usabilidad no se debe entender como una cualidad universal. Las aplicaciones se crean para satisfacer las necesidades de unos usuarios considerados como objetivo, lo que implica que no tiene que ser necesariamente usable para el resto de personas. Por tal motivo, la usabilidad se entiende como un concepto cuyo significado también depende de una audiencia, de unos objetivos y de un contexto específico.
- *Ética*: aunque diseñar productos fáciles de usar resulta económicamente rentable, el objetivo del diseño usable es mejorar la calidad de vida de las personas, evitando la discriminación y la exclusión. En [19], resaltan que la importancia de un “buen diseño”, va más allá de lo económico: es principalmente centrado en el usuario y busca evitar que el diseño no pueda perjudicarlo o se sienta insatisfecho o discriminado con el mismo.

Estas dimensiones presentadas por Hasam *et al.* en [18], muestran a la usabilidad desde cuatro punto de vista y la importancia de entenderla desde cada una de dichas cuatro dimensiones. En la siguiente sección se presentará cuáles son los objetivos que se quieren lograr con la usabilidad.

### 1.3.2. Objetivo de la Usabilidad

Según Redish [20], los retos de la usabilidad son: *i*) encontrar la manera de ayudar a los usuarios a través del laberinto de opciones, cómo ayudarlos cuando quieran ser ayudados, cuando quieran aprender, cuando quieran explorar o cuando quieran ser desafiados; *ii*) encontrar qué tipos de información necesitan diferentes usuarios, cuando la necesitan y lo mucho que necesitan; y por último *iii*) encontrar nuevas maneras de conseguir la información para los usuarios, cuando la necesiten, de forma que la puedan utilizar, y dentro de las limitaciones de tiempo y esfuerzo que los usuarios han establecido.

Con los conceptos de *Adaptación*, *HCI* y Usabilidad aclarados se realizó una búsqueda de trabajos realizados en las áreas de *HCI* y *Adaptación* orientados a la creación dinámica de interfaces.

## 2. Trabajos Relacionados (General)

En esta sección se muestran algunos trabajos relacionados con la generación dinámica de interfaces. Estos trabajos se caracterizan por integrar *HCI* y algunos conceptos de *Adaptación*, orientados a cumplir con criterios de usabilidad del sistema. Los trabajos relacionados se organizaron en aquellos que no consideran características de *Adaptación* y si de *HCI* para la generación dinámica de interfaces, y los que si usan *Adaptación* pero no *HCI*. Además, se hizo un análisis similar para trabajos que usan tanto técnicas de *HCI* como de *Adaptación*.

Con el fin de realizar un resumen de los trabajos relacionados se realiza un cuadro comparativo (ver Tabla 1) de cada uno de los trabajos relacionados, especificados en el Anexo II. Este análisis resume las debilidades y fortalezas de cada uno de dichos trabajos. El estado del arte completo se puede ver en el Anexo II.

**Tabla 1. Resumen Trabajos Relacionados.**

Criterio	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]	[20]	[21]	[22]	[23]	[24]	[25]
Tiene en cuenta las características del usuario	+/-	+/-	-	+/-	+	+	+/-	-	+/-	+	+
Se tienen en cuenta características del entorno	+	-	+	+/-	+/-	+	+	+/-	-	+/-	-
Usa técnicas de HCI	+	+/-	-	-	+/-	+/-	-	+/-	-	+	+/-
Relaciona técnicas de HCI y Adaptación	-	-	-	-	-	-	-	+/-	-	+	-
Usa modelos como fuente de generación de las interfaces	-	+	-	-	+	+	+	--	+/-	-	-
Tiene en cuenta aspectos de diseño con base en el perfil del usuario	-	+/-	+/-	+/-	-	-	-	-	+	-	+/-

El símbolo (+) indica que se tiene el criterio, el símbolo (-) significa que no se tiene el criterio y el símbolo (+/-) significa que se tiene el criterio pero no se cumple de satisfactoriamente.

Como se puede observar en la Tabla 1, aunque la mayoría de trabajos reconocen la importancia de tener en cuenta tanto las características del usuario como de su entorno para la generación/creación de interfaces de usuario, no hacen énfasis en el diseño de las mismas, concretamente en los principios de diseño. Dichos principios de diseño son los que determinan, según características del usuario, cuál debe ser el color, tamaño, forma y posición de los objetos presentados en una interfaz. Por otro lado, aquellos trabajos que tienen en cuenta dichos principios de diseño se centran en un solo tipo de usuario, con características específicas y limitan los sistemas; la falta de *Adaptación* en este tipo de trabajos, lleva también a que se tengan que realizar diversos sistemas para diferentes tipos de usuarios. Aunque existen trabajos que tienen en cuenta tanto los conceptos y técnicas de *HCI* como los de *Adaptación*, dichos trabajos tienen un problema y es que no son dinámicos; para realizar la

generación de las interfaces; tales trabajos usan perfiles estáticos y modelos estáticos pre-establecidos; por tal motivo, no se ajustan por completo a los cambios tanto del entorno como del usuario (preferencias). Es importante resaltar que este resumen del estado del arte fue presentado en [5].

### 3. Trabajos Relacionados (Radiología)

En esta sección se presenta un cuadro comparativo con cada uno de los trabajos relacionados investigados; dichos trabajos se orientan a mejorar la usabilidad de las interfaces de usuario en el área de radiología clínica. En el Anexo II, se encuentra la investigación completa de cada uno de los trabajos presentados en la Tabla 2.

**Tabla 2. Trabajos Relacionados Radiología**

criterio	[21]	[22]	[23]	[24]	[25]
¿Toma en cuenta características del usuario?	+/-	-	-	+/-	+/-
¿Tiene en cuenta aspectos del contexto del usuario?	-	+	+/-	-	-
¿Toma en cuenta preferencias de usuario?	-	-	-	-	+/-
¿Tiene en cuenta cambios en el perfil de usuario en tiempo de ejecución?	-	-	-	-	-
¿Usa estándares de diseño dados por <i>HCI</i> (estructura de <i>Layout</i> )?	+/-	+/-	+/-	-	+
¿Usa métodos/técnicas dadas por <i>HCI</i> (e.g. Ley Fitts)?	-	-	-	+/-	+/-
¿Usa modelos de tarea? (descripción de tareas de usuario relacionadas con la interfaz)	-	-	-	-	+/-
¿Tiene en cuenta métodos/técnicas dados por <i>HCI</i> en tiempo de Ejecución (E) o de Diseño (D)?	D	D	D	D	D

El símbolo (+) indica que se tiene el criterio, el símbolo (-) significa que no se tiene el criterio y el símbolo (+/-) significa que se tiene el criterio pero no se cumple de satisfactoriamente.

Como se puede observar en la Tabla 2, aunque la mayoría de trabajos reconocen la importancia de tener en cuenta los estándares dados por *HCI* en el diseño de interfaces en el área de radiología, no hacen énfasis en el dinamismo de las mismas, concretamente en los principios de diseño establecidos como estándares en *HCI*. Por otro lado, la mayoría de los trabajos investigados no tienen en cuenta aspectos relacionados con el usuario, por lo que las aplicaciones se encuentran limitadas en cuanto a la flexibilidad de la interfaz según las características individuales de sus usuarios. Además, no tienen en cuenta el cambio en el entorno de los radiólogos como por ejemplo la iluminación y cómo ésta puede afectar la visualización de las imágenes, lo que podría afectar el diagnóstico de las mismas.

En esta sección se presentaron aquellos conceptos base para la realización del proyecto; adicionalmente, se mostró un resumen de trabajos relacionados que usan tanto técnicas de *HCI* como de *Adaptación* para la generación de interfaces usuario y trabajos relacionados en el área de radiología clínica. Con base en este estudio de conceptos y trabajos relacionados se creó el *core* del proyecto que es la Integración Conceptual entre *HCI* y *Adaptación*, que se presentará en las siguientes secciones a manera de contribuciones.

## IV. CONTRIBUCIONES

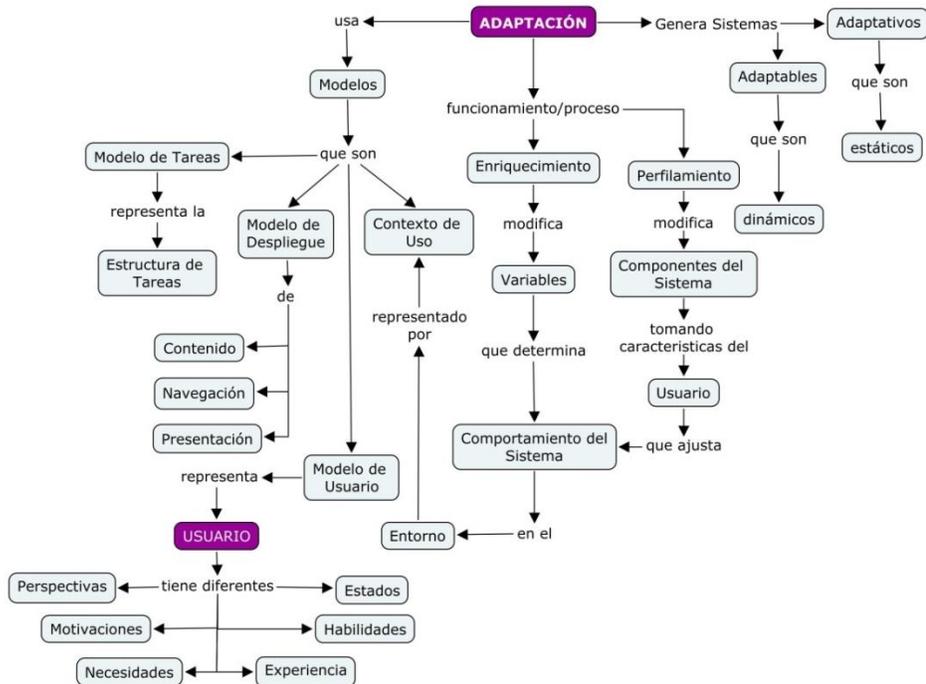
En este capítulo se presentan las contribuciones realizadas, establecidas cada una con respecto a los objetivos del proyecto.

### 1. TAXONOMÍA DE HCI, ADAPTACIÓN Y USABILIDAD

El primer objetivo del proyecto fue proponer una taxonomía que articulara las técnicas, modelos y otros formalismos existentes en *Adaptación* y *HCI* con el fin de encontrar puntos de integración de estas dos líneas de investigación, orientando la investigación a usabilidad e interfaces de usuario. A continuación se presentarán dichas taxonomías, para un mayor detalle de cada uno de los conceptos que las integran, ver Anexo III.

#### 1.1. Taxonomía *Adaptación*

Con base en la investigación realizada de los conceptos, técnicas y aplicaciones de *Adaptación* (ver sección 1.1), se construyó una taxonomía. Dicha taxonomía se presenta en la Figura 2. A continuación se presenta un resumen de los conceptos presentados en la misma.



**Figura 2. Taxonomía Parte I- Adaptación**

La *Adaptación* se vale de modelos que representan al usuario (estados, necesidades, gustos, preferencias, entre otros), su entorno (contexto de uso), sus objetivos (modelo de tareas) y cómo se le debe desplegar la información (despliegue de contenido, navegación y/o

presentación. Como se presentó en la sección 1.1.1, el *Modelo de Usuario* está compuesto de aquellas características que definen a cada usuario tanto físicas como de gustos, necesidades y preferencias. Por el lado del *Modelo de Contexto* (sección 1.1.2), representa el entorno del usuario, como lo son las características de dispositivo, ambientales, de localización, entre otras. Adicionalmente, en *Adaptación* se maneja un *Modelo de Tareas* cuyo propósito es el de construir un diagrama que describa con precisión las relaciones entre las distintas tareas relacionadas con el sistema [26]; dicho modelo le brinda al usuario la posibilidad de realizar una tarea de diferentes formas y escoger la que más se acomode a sus necesidades. Por último, el *Modelo de Despliegue* (sección 1.1.3) muestra cómo se le presentará la información o los servicios adaptados al usuario, para lo cual existen tres tipos de despliegue: *i)* al *Contenido*, se realiza una modificación a los datos para que el usuario sólo obtenga información pertinente y ajustada a su perfil ; *ii)* a la *Presentación*, se modifica la interfaz de usuario para satisfacer las necesidades del usuario, interfaz flexible y modificable; y *iii)* a la *Navegación*, se realizan modificaciones al modo en que el usuario interactúa con el sistema (*e.g.*, la cantidad de clics que debe dar para usar un servicio puede ser reducido según las habilidades del usuario).

Los modelos anteriormente mencionados se usan para generar sistemas de dos tipos: *i)* *Adaptables*, aquellos que usan los modelos para realizar cambios en el contenido, la navegación o la presentación del sistema, de forma dinámica (por eventos); y *ii)* *Adaptativos*, son sistemas estáticos, se adaptan antes de desplegarse. Para lograr la creación de estos sistemas (adaptables y adaptativos) existen en *Adaptación* dos tipos de procesos: enriquecimiento y perfilamiento. En el *Enriquecimiento* se busca modificar variables/parámetros del sistema (enriquecerlo) para determinar el comportamiento del mismo; al enriquecimiento le interesa que la información presentada al usuario sea pertinente según las características asociadas al usuario. Por el lado del *Perfilamiento*, se modifican componentes del sistema con base en los modelos de usuario, contexto y despliegue.

Los conceptos expuestos en este capítulo sobre la taxonomía realizada sobre *Adaptación* se encuentran explicados más en detalle en el Anexo III. En la siguiente sección se presentarán los conceptos asociados con el área de *HCI*.

## 1.2. Taxonomía *HCI*

Por el lado de *HCI*, dada la amplitud del área, se seleccionaron sólo aquellos conceptos que estaban estrechamente relacionados con el diseño de interfaces de usuario. Como se puede ver en la Figura 3, en *HCI* se integran conceptos de diferentes áreas del conocimiento centradas en el humano como lo son el estudio de los *Factores Humanos* y los *Principios Cognitivos*.



### 1.2.1. Factores Humanos

El estudio de los Factores Humanos es: *un esfuerzo multidisciplinario para generar y compilar información sobre capacidades y limitaciones humanas, aplicando dicha información a los equipos, sistemas o software para producir un desempeño humano seguro, cómodo y eficaz* [27]. El estudio de los Factores Humanos, específicamente en la Ingeniería, se centra en diseño de aplicaciones para ser usadas por usuario con habilidades, comportamientos y limitación específicos.

### 1.2.2. Principios Cognitivos

Otra de las áreas centradas en el usuario que hacen parte de *HCI* y que está relacionada con el diseño de interfaces de usuario es el estudio de los *Principio Cognitivos*. En *HCI* dicha área se enfoca en la percepción visual de los usuarios según la forma en que el cerebro percibe y organiza lo que se ve (*e.g.*, Leyes de Gestalt [28]). Los principios cognitivos de percepción visual pueden ser considerados como principios estéticos, que las personas van a aplicar en la percepción e identificación de las figuras humanas perfectas, objetos físicos, y el entorno natural [29]. Dichos principios cognitivos, según Wang en [29], son: asociación, simetría, perfección, abstracción, categorización, análisis y apreciación (ver Anexo III).

### 1.2.3. Diseño de Interfaces

Por último, para la taxonomía de *HCI*, se tuvo en cuenta los *Principios de Diseño*, que enmarcan los conceptos relacionados con el ciclo de vida del Diseño de Interfaces y de Interacciones. Por un lado, en el Diseño de Interfaces, se establece de vida para construcción de las interfaces de usuario (diseño) en el cual se resaltan tres fases: *i*) Concepción y descubrimiento; *ii*) Diseño base; e *iii*) Implementación. Es importante resaltar que estas fases son las que componen la metodología LUCID [30] (ver Anexo III) .En lo que refiere al Diseño de Interacciones, éste es una forma “*de darle a lo digital para el uso de las personas*” [12]; lo cual implica, entre alguna de sus características, la exploración de los futuros posibles con respecto a configuraciones y despliegue de artefactos en situaciones particulares. Para lograr ese diseño de posibles futuros se han establecido cuatro tipos de interacciones, según Precece *et al.* en [32]: *i*) Interfaz por línea de comandos; *ii*) Menús y navegación; *iii*) Manipulación directa; y la *iv*) Interacción asistida.

En el Anexo III, se pueden encontrar las definiciones relacionadas a los conceptos expuestos en la taxonomía de *HCI* y como la de *Adaptación*.

## 1.3. Taxonomía Usabilidad

Dado que la usabilidad es requerimiento no funcional seleccionado como centro de integración entre las áreas de *Adaptación* y *HCI*, se realizó adicionalmente una taxonomía que será presentada en esta sección.

### 1.3.1. Categorías Usabilidad

La usabilidad para *Runa-Kamachiy* se divide en seis categorías, a su vez, cada una de estas categorías se subdivide en criterios que determinan el nivel en que se encuentra dicho criterio en una interfaz de usuario.

**Tabla 3. Categorías y Criterios de Usabilidad.**

<b>Categoría</b>	<b>Criterio</b>
<b>Atractivo</b>	Legibilidad, Simplicidad, Coherencia, Diseño Minimalista, Estética
<b>Satisfacción</b>	Flexibilidad, Personalización, Tomar en cuenta Habilidades, Complejidad, Experiencia del Usuario
<b>Eficiencia</b>	Latencia, Reutilización, Capacidad de Recuperación, Capacidad de Respuesta
<b>Prevención del Error</b>	Anticipación, Salidas Abiertas, Reconocimiento, Diagnostico Recuperación
<b>Aprendizaje</b>	Autonomía, Interfaces Explorables, Navegación Visible, Sistema vs Mundo Real
<b>Eficacia</b>	Gestión de actividades relacionadas, Tiempo de respuestas soporte, Éxito de logros

A continuación se define cada una de estas categorías como fueron entendidas para el proyecto.

*Eficiencia (cuantificable objetivo)*

Los recursos asignados en relación con la precisión y exhaustividad con la que los usuarios alcanzaron sus objetivos. En otras palabras, ¿cuánto esfuerzo se requiere para que el usuario alcance su objetivo? Normalmente, la eficiencia suele medirse en términos del tiempo que les lleva a los usuarios realizar dichas tareas. Una vez que los usuarios han aprendido a usar el diseño, ¿qué tan rápido pueden realizar las tareas? [32].

*Eficacia (cuantificable objetivo)*

Es la precisión con la que los usuarios alcanzan las metas específicas (hacer lo correcto). Es decir, ¿los usuarios pueden hacer lo que necesitan en forma precisa? Para la ISO 9141-11, la eficacia corresponde al grado en que se realizan las actividades planificadas y se alcanzan los resultados planificados.

*Satisfacción (cuantificable subjetivo)*

La satisfacción es la percepción de agrado y actitud positiva hacia el uso del producto; dicha percepción se ve reflejada en las reacciones físicas y emocionales positivas del usuario al momento de usar el sistema. Es decir, ¿cuál es la percepción del usuario frente a la facilidad de uso del producto? ¿Qué tan agradable es usar? [32].

*Facilidad de Aprendizaje*

Referido a la capacidad del producto de software para permitir a los usuarios aprender a usar sus aplicaciones [32]. ¿Qué tan fácil es para los usuarios realizar tareas básicas la primera vez que usan el diseño?

*Memorización*

Cuando los usuarios después de un periodo de tiempo, en el que no lo han usado, vuelven a hacer uso de una aplicación [33], ¿Qué tan fácil es volver a usar?

## Prevención Errores

¿En cuántos errores los usuarios incurren?, ¿Qué tan grave son estos errores? y ¿Qué tan fácil pueden recuperarse de estos errores? Una interfaz tolerante a errores está diseñada para ayudar al usuario en la recuperación de los errores que se produce.

## Atractiva

Una interfaz es atractiva, si es agradable y satisfactoria al usar; adicionalmente, una interfaz es atractiva cuando gana la voluntad, afecto, gusto o atención del usuario [34]. El diseño visual es el elemento más evidente de esta característica. Es la capacidad del software para ser apreciado por el usuario [33].

### 1.3.2. Proceso de Priorización Estático (Etapa Diseño)

Para la priorización de los criterios de usabilidad según el SI, se propone a continuación un proceso de priorización (ver Figura 4) con base en el contexto del sistema y el usuario final.

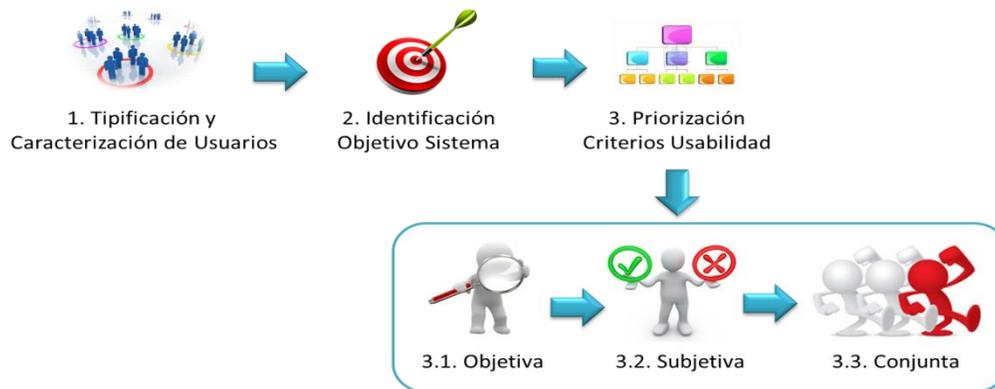


Figura 4. Proceso Priorización Estática

A continuación se explicará cuáles son los pasos a seguir en este proceso de priorización estática.

#### 1.3.2.1. Tipificación y Caracterización del Usuario Final

Como primer paso para la priorización de los criterios de usabilidad, en la etapa de diseño se propone realizar una tipificación y una caracterización del(los) usuario(s).

#### Tipificación

La tipificación es el proceso de clasificar a los usuarios en subgrupos; es decir, agrupar a los usuarios que tengan características similares (*e.g.*, por edades: jóvenes y adultos). Con esto se debe identificar cuáles son los tipos de usuarios que tiene el sistema. Por ejemplo, el sistema podría ser usado por jóvenes (entre 16-26 años) y adultos (entre los 45-60 años).

#### Caracterización

Con la caracterización se busca especificar cuáles son las características que definen de cada uno de los subgrupos de usuario detectados en la tipificación. El fin de la caracterización es tener un conocimiento

detallado de cada uno de los tipos de usuarios. Por ejemplo, para un joven puede ser más importante el tiempo de reacción del sistema y para un adulto podría ser la precisión en la realización de una tarea. Para lograr esta caracterización de los tipos de usuario, se propone realizar un levantamiento de requerimientos como el propuesto por Stone *et al* en [35]. Dicho levantamiento de requerimientos incluye técnicas de observación del usuario, entrevistas a los usuarios finales y obtención de información por medio de cuestionarios. En la Figura 5, se puede apreciar un ejemplo de cuáles pueden ser las características específicas que se necesitan conocer de cada tipo de usuario.

Focus of Investigation	Information gathered
The domain	Wider specialist knowledge Specific knowledge for a computer system
The users	Who they are; focuses on the real (primary) users, but also considers other stakeholders (secondary users)
Characteristics of the users	Age, sex, culture, physical abilities and physical disabilities, educational background, computer/IT experience, motivation, attitude, enjoyment, satisfaction
Characteristics of the tasks	Are the tasks easy, complex, novel, variable, repetitive, frequent or infrequent, single tasks or multitasking, time critical, requiring individual or collaborative working? Are there safety issues in relation to the work?
Physical environment	Noise, stress, comfort, dirt, dust, heating, lighting, ventilation, furniture, working space, individual offices, open-plan areas, equipment layout, hazards in the workplace

Figura 5. Caracterización de los tipos de usuario (tomado de [35])

### 1.3.2.2. Identificación Objetivo del Sistema.

En este segundo paso de la priorización se debe especificar el objetivo general del sistema, conocer cuál es el fin de su construcción. Esto es importante debido a que el objetivo puede hacer variar la priorización, y si sólo se piensa en el usuario, se podría perder la visión del objetivo final del sistema. Volviendo al ejemplo del usuario joven y el adulto, podría ser que para el joven es importante el tiempo de respuesta, pero si el objetivo del sistema es la confiabilidad en transacciones (*e.g.*, un banco), la precisión tendría un valor mayor en la priorización que el tiempo de respuesta.

### 1.3.2.3. Priorización Estática

El tercer paso es realizar la priorización, la cual se realiza en tres fases: *i*) priorización objetiva; *ii*) priorización subjetiva y *iii*) priorización conjunta.

#### Fase 1. Priorización Objetiva

Para el desarrollo de esta fase es necesario tener los requerimientos generales del sistema (el proceso de levantamiento de requerimientos ya debió haber sido ejecutado). Luego de tener los requerimientos del sistema y tomando como base las categorías asociadas a la usabilidad (ver sección 1.3.1) se debe realizar un mapeo de los requerimientos en cada uno de los criterios de la usabilidad; al final, la importancia

(priorización) de cada criterio la dará la cantidad de requerimientos asociados al mismo. Por ejemplo, si el criterio de latencia tiene asociado cuatro (4) requerimientos y el de coherencia dos (2) requerimientos asociados, entonces la latencia tendrá una mayor prioridad que la coherencia.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta que pueden existir conflictos entre los criterios de usabilidad. Por ejemplo, entre la eficiencia (resultados) y la eficacia (recursos) existe un conflicto de desempeño, dado que la eficacia se preocupa por utilizar pocos recursos (alto desempeño); y por el lado de la eficiencia, al tener como prioridad el éxito de los resultados, consume más recursos (bajo desempeño) [36]. Lo anterior presenta el conflicto entre la eficiencia y la eficacia, y éste se refleja en las priorización de dichos criterios; por ejemplo, si la prioridad más alta la tiene la eficacia, la eficiencia no podría tener el mismo nivel que la eficacia y bajaría el nivel de éxito de los resultados. Para esto, en la figura tal, se presenta un grafo con los posibles conflictos entre los criterios de usabilidad.

### *Fase 2. Priorización Subjetiva*

Dada la naturaleza empírica de la usabilidad (ver sección 1.3.1), es necesario realizar una priorización subjetiva, con base en la experiencia y observación, de los criterios de usabilidad. Para lograr esto, es necesario que tanto los usuarios finales como los implicados en el desarrollo de las interfaces, den una valoración acerca de la importancia de cada una de los criterios de usabilidad según sus necesidades y/o experiencia.

### *Fase 3. Priorización Conjunta*

Como fase final se propone realizar una media entre las priorizaciones realizadas en las fases 1 y 2. Con esto se tendría una primera priorización de los criterios de usabilidad para comenzar el diseño de las interfaces de usuario con base

#### 1.3.3. Proceso de Priorización Dinámica (tiempo de ejecución)

La priorización dinámica pretende lograr que, en tiempo de ejecución, las interfaces de usuario se adapten a las características, preferencias y contexto de cada uno de los usuarios del sistema. En otras palabras, que la construcción dinámica de interfaces tome como una entrada la priorización de los criterios de usabilidad según la visión de cada uno de los usuarios y la visión general del sistema.

Para lograr esta priorización dinámica se proponen tres fases: *i*) Priorización personalizada, *ii*) Cruce de priorizaciones y *iii*) Ejecución de la priorización (ver Figura 6).



**Figura 6. Priorización Dinámica**

### *Fase 1. Priorización personalizada*

Esta fase tiene como finalidad, por medio de cuestionarios, conocer cuáles son las prioridades para cada uno de los usuarios, es decir, para cada uno de los usuarios cuál es nivel de importancia de cada uno

de los criterios de usabilidad. Volviendo al ejemplo del usuario joven y el usuario adulto, puede ser que para el usuario joven el criterio de *interfaces explorables* tiene una importancia de 5; mientras que para el usuario adulto tiene una importancia de 2, contraría a la importancia que tiene para este último, el criterio de *recuperación* que es de 5. En esta fase se generará una lista de priorización personalizada de criterios de usabilidad, una por usuario. Adicionalmente, se propone realizar un análisis del entorno con el fin de evaluar las características que rodean al usuario y ver cómo influyen éstas en la lista tanto priorizada como personalizada de criterios.

### *Fase 2. Cruce de priorizaciones*

Dado que ya se tiene una priorización inicial estática (ver sección 1.3.2), que proporciona la priorización general del sistema, con respecto a las interfaces de usuario, es necesario realizar un cruce entre la priorización dada por cada usuario y dicha priorización general del sistema. Como se explicó en la sección 1.3.2.2, aunque las necesidades y preferencias del usuario son importantes en el momento de priorizar los criterios de usabilidad, no se puede dejar de lado el objetivo general del sistema y la lista de priorización resultante de la priorización estática (ver sección 1.3.2.3); por tal motivo, se debe realizar nuevamente una media entre la priorización dada en la fase de generación de cuestionarios y la priorización estática realizadas anteriormente.

### *Fase 3. Puesta en marcha de la priorización*

Después de realizado el cruce de prioridades, que da como resultado una priorización media entre las prioridades del sistema y las del usuario, se genera una priorización adaptada al usuario. Esta priorización se reflejará en la interfaz de usuario.

Es importante resaltar la diferencia existente entre la caracterización y tipificación realizada en la priorización estática (ver sección 1.3.2.1) y esta fase de priorización adaptada. En la priorización estática se realiza una generalización de las características según los tipos de usuario (*e.g.*, Jóvenes y Adultos); y en esta priorización adaptada se realiza una priorización por necesidades y características individuales de cada usuario (*e.g.*, Joven 1, Joven 2, ..., Adulto N).

Con base en la definición dada por las taxonomías presentadas en esta sección se construyó el modelo de integración conceptual que será presentado en la siguiente sección.

			ADAPTACIÓN										
			Modelo de Usuario		Modelo de Despliegue			Modelo de Tareas		Contexto de Uso	Proceso de Adaptación		
			Estático	Dinámico	Navegación	Contenido	Presentación	Sistema	Usuario		Perfilamiento	Enriquecimiento	
HCI	Modelo Interfaz de Usuario	Interacciones	Paradigmas			+ [1][9]		+ [5]		+ [6][16]			
			Diseño de Interacciones	+ [6]		+/- [8][11]			+ [2]	+ [2]		+ [2]	
			Tipos de Interacción						+ [2][4]	+ [2][3]			
		Layout					+ [4]						
	Descripción del Usuario (Factores Humanos)	Ergonomía	+ [3][11]		+ [3]		+ [4][12]	+ [2]	+ [2]	+ [2][6][16]	+ [8]		
		Lenguaje	+ [12]				+ [12][13]				+ [12]		
		Procesamiento Cognitivo de la Información	+ [9][13]		+/- [2]	+/- [12]	+/- [10][13]						
		Caract. Físicas y Mentales	+ [6][7][11]	+ [10][11]	+ [11]	+/- [12]	+ [4][10][11]	+/- [9]	+ [12]				
	Principios Cognitivos	Análisis Cognitivo de Tareas			+/- [10]			+ [12]	+ [6][8]		+/- [8]		
		Principios de Gestalt					+ [12][15]						
Diseño de Interfaz de Usuario	Fase de Concepción y Descubrimiento												
	Fase Diseño Base												
	Fase de Implementación												
	Plasticidad					+ [12][14]			+ [12][14]				

**Figura 7. Matriz de Integración Conceptual.**

(+) Significa que la técnica/método/concepto de *HCI* se puede aplicar en el concepto de *Adaptación*; (+/-) Significa que la técnica/método/concepto de *HCI* puede relacionarse con el concepto de *Adaptación* pero no es clara su aplicación.

## 2. RUNA-KAMACHIY: MODELO DE INTEGRACIÓN CONCEPTUAL

El modelo de integración conceptual se construyó como una matriz en tres dimensiones: Conceptos de *HCI*, Conceptos de *Adaptación* y colores. El fin del modelo es mostrar la integración entre ambas áreas del conocimiento, *HCI* y *Adaptación*; en adición a esto, representar cómo cada una de estas áreas puede contribuir a nivel de métodos/técnicas a la otra. Es importante resaltar que no se tomaron todos los conceptos usados en cada área, sino sólo aquellos orientados a la creación de interfaces de usuario.

Se construyeron dos matrices: *i*) Matriz de Integración Conceptual Bibliográfica, en la cual se representa lo encontrado en la bibliografía; y *ii*) Matriz de Integración Propuesta, tomando los vacíos encontradas en bibliografía se proponen algunos cruces entre ambas áreas. Es importante resaltar que en los trabajos investigados para la integración entre ambas áreas, no se encontraba de forma explícita las relaciones, por lo que se tomó la definición de los conceptos de cada una de las áreas. A continuación se presentan cada una de estas matrices y la representación de cada uno de sus cruces.

### 2.1. Matriz de Integración Conceptual Bibliografía

En esta sección se presenta la Matriz de Integración Conceptual Bibliográfica, la cual muestra el análisis bibliográfico realizado acerca de la relación, a nivel de conceptos/métodos, entre las áreas de *HCI* y *Adaptación*. Dicha matriz se puede ver en la Figura 7. Es importante resaltar que los conceptos usados se tomaron de la taxonomía realizada en un trabajo previo (sección 1).

A continuación se presentará la explicación de cada uno de los cruces encontrados desde el punto de vista de *HCI*; cómo la *Adaptación* es usada (implícitamente) o apoya los conceptos usados en *HCI* o si son conceptos con objetivos similares.

#### 2.1.1. Modelo Interfaz de Usuario

En el concepto *Modelo de Interfaz de Usuario* se integraron aquellos métodos/conceptos usados en *HCI* para la descripción del usuario, del tipo de interacciones y del diseño de las interfaces de usuario. A continuación se describirán las relaciones de cada uno de estos conceptos (interacciones, *layout* y descripción del usuario) con los conceptos usados en *Adaptación*.

##### 2.1.1.1. Interacciones

El concepto de Interacciones agrupa tres aspectos necesarios para generar la comunicación entre el usuario y un sistema informático; dichos aspectos son: Paradigmas de interacción, Diseño de Interacciones y Tipos de Interacción. La integración de los conceptos listados anteriormente con el área de *Adaptación* se expondrá a continuación.

#### *Paradigmas*

Según Lóre *et al.* [37], los paradigmas actuales son: *Computador Sobremesa*: la interacción entre el usuario y el computador está aislada de la interacción entre el usuario y el mundo real; *Realidad Virtual*: el computador cubre totalmente el usuario y la interacción entre el usuario y el mundo real desaparece; *Computación Ubicua*: el usuario interactúa con el mundo real pero también puede interactuar con los computadores de los que dispone en el mundo real; y *Realidad Aumentada*:

soporta la interacción entre el usuario y el mundo real utilizando la información aumentada del computador.

Estos paradigmas de interacción utilizan implícitamente tres conceptos de adaptación: Adaptación a la navegación, a la presentación y perfilamiento. La adaptación a la navegación, realiza modificaciones al modo que el usuario interactúa con el sistema; dado que los paradigmas de interacción representan esas diferentes formas de navegación para la realización de tareas específicas. Por el lado de la adaptación a la presentación, en la que se modifica la interfaz de usuario, este concepto es tratado por los paradigmas porque en cada uno de ellos la presentación se tiene que ajustar a diferentes características (físicas, ambientales, de ubicación, entre otras) y además la forma de presentación en cada uno de ellos también es necesario adaptarla [38]. Por último, el proceso de perfilamiento modifica el funcionamiento del sistema según características del usuario; el perfilamiento es usado en algunos trabajos para modificar el paradigma según las características del entorno (no las de usuario) [39].

### *Diseño de Interacciones*

“El diseño de interacciones se trata de dar forma a lo digital para el uso de las personas”<sup>1</sup>. El diseño de interacciones define la estructura y comportamiento de productos interactivos, y la interacción del usuario son dicho producto interactivo<sup>2</sup>. Con respecto a la integración de este concepto con adaptación, se encontró usa cuatro conceptos de *Adaptación*: modelo estático del usuario, Navegación, Modelo de Tareas y Perfilamiento.

Por el lado del Modelo estático del usuario, que corresponde a características del usuario que tienden a ser constantes en el tiempo, es usado por *HCI* en proceso del diseño de interacciones porque realiza un reconocimiento de las características básicas del usuario y predice sus interacciones con el sistema según éstas [40]. Lo anterior también se encuentra relacionado con el proceso de perfilamiento usado en adaptación, aunque en este caso no es en tiempo de ejecución del programa sino en el proceso de diseño del mismo.

La adaptación a la navegación es formalizada, en parte, en el diseño de interacciones [41]. Esto se debe a que en este diseño se realiza un modelo formalizado que muestra el cómo sería la interacción del usuario con el sistema con base en características del mismo, la creación de árboles de decisión, el diseño de modelo de tareas (otro concepto de adaptación usado), la interoperabilidad, entre otras especificaciones usadas en el diseño de interfaces.

### *Tipos de Interacción*

Existen cuatro tipos de interacciones según Precece *et al.* [31]: Interfaz por línea de comandos se dan instrucciones directamente al computador (*e.g.*, teclas de función como F1 y F2); Menús y Formularios, “un menú es un conjunto de opciones visualizadas en la pantalla, que se pueden seleccionar y la selección de una de ellas o más supone la ejecución de una orden subyacente y normalmente un cambio en el estado de la interfaz”; Manipulación Directa, representación continúa de los objetos y de las acciones de interés, cambio de una sintaxis de comandos compleja por la

---

<sup>1</sup> [http://www.interaction-design.org/encyclopedia/interaction\\_design.html](http://www.interaction-design.org/encyclopedia/interaction_design.html)

<sup>2</sup> <http://www.lukew.com/ff/entry.asp?327>

manipulación de objetos y acciones y acciones rápidas, incrementales y reversibles que provocan un efecto visible inmediatamente en el objeto seleccionado (*e.g.*, *WIMP*); e Interacción Asistida, utiliza la metáfora del asistente personal, el usuario en vez de dirigir la interacción; trabaja en un entorno cooperativo, el usuario y los agentes o asistentes se comunican, controlan eventos y realizan tareas. En *HCI* el uso de dichos tipos de interacción se puede ver reflejado en el diseño del modelo de tareas dado que se especifica qué tareas realiza el usuario y cuáles el sistema.

#### 2.1.1.2. *Layout*

El *Layout* se refiere a la parte gráfica de las interfaces, es en analogía con la pintura, el lienzo de trabajo de la interfaz de usuario. Esto se relaciona directamente con la adaptación a la presentación, que modifica la interfaz para satisfacer las necesidades del usuario, porque se encargan de presentar una presentación acorde a ciertos criterios como las capacidades del dispositivo o los colores base. Es importante aclarar que en *HCI* este proceso es estático (en la etapa de diseño) y en *Adaptación* es en tiempo de ejecución.

#### 2.1.1.3. Descripción del Usuario (Factores Humanos)

La descripción del usuario agrupa cuatro aspectos: la ergonomía que estudia las características antropométricas y fisiológicas de las personas, además de su relación con los parámetros dados por el espacio de trabajo y el medio ambiente<sup>3</sup>; el Lenguaje, la lingüística aporta toda la información relativa a la fonética y fonología, gramática, morfosintaxis, semántica, lexicografía y pragmática para el uso del lenguaje en aplicaciones<sup>4</sup>; el Procesamiento cognitivo que es un recurso de la conciencia en el que mediante fenómenos biológicos y mecanismos psicológicos generan la obtención de un conocimiento, elaborando de esa manera el esquema de aprendizaje de un usuario [42]; y Características físicas y mentales del usuario [43]. A continuación se presenta qué conceptos de adaptación son usados por los Factores Humanos definidos anteriormente.

##### *Ergonomía*

Dado que la ergonomía estudia las características físicas del usuario, se encuentra estrechamente relacionada con el perfil estático del paciente (concepto usado en adaptación) [43]. Además, usa dichas características para que tanto la navegación como la presentación de la interfaz sean diseñadas con base en las capacidades físicas del usuario, así como las características físicas de su entorno de trabajo. Por el lado del Modelo de Tareas, en ergonomía se orienta a asegurar que el sistema opere de manera segura y que se tengan manuales de usuario y los requisitos del mismo para realizar las tareas [44]. Con respecto al contexto de uso, en ergonomía se maneja el concepto de Diseño de Entornos, cuyo fin es el conocimiento del espacio de trabajo, para conocer el ambiente en que trabaja el usuario como características físicas (*e.g.*, clima, iluminación, entre otras).

##### *Lenguaje*

Existe un área adjunta a *HCI* llamada Procesamiento de Lenguaje Natural (*NPL* – por sus siglas en inglés). Ambas áreas toman la comunicación como un concepto central para maximizar la naturalidad de la interacción con un usuario final [45]. Uno de los retos de estas áreas es ajustar el

---

<sup>3</sup> [http://old.sigchi.org/cdg/cdg2.html#2\\_1](http://old.sigchi.org/cdg/cdg2.html#2_1)

<sup>4</sup> <http://www.sopadebits.com/wp-content/uploads/2011/03/4479-pln-1.0-20070630.pdf>

lenguaje usado por los sistemas para comunicarse de una forma apropiada con el usuario final según las características y contexto del mismo (relacionado con el perfil estático de usuario en *Adaptación*) [45]; el uso apropiado del lenguaje según el usuario puede afectar el rendimiento del mismo. Un ejemplo de cómo afecta el uso del lenguaje para comunicarse con un usuario es el presentado por Beckwith *et al.* [46] que corresponde a un estudio de cómo afecta el género de un usuario final el uso de una aplicación para lenguaje de programación, dado que el uso del lenguaje es exclusivamente masculino.

Adicionalmente, el *NPL* tiene una sub-área llamada Generación de Lenguaje Natural (*NGL* –por sus siglas en inglés) que se centra en la producción de texto (escrito o verbal) [45] según las características del usuario (relacionado con el presentación de información en *Adaptación*). El *NGL* usado para la creación de interfaces busca reducir el tiempo de aprendizaje e incrementar la eficiencia en la comunicación con el usuario final [45]. Para lo anterior, es necesario un perfilamiento del usuario con el fin de usar las técnicas dadas por *NGL* para que los elementos gráficos de las interfaces (*e.g.* diálogos, ayudas, entre otros) puedan ser comprendidos por el usuario y su contexto específico.

#### *Procesamiento Cognitivo de la Información*

Dillon en [47], expresa que para el diseño de interfaces de usuario es necesario tener en cuenta cómo los usuarios van a percibir e interpretar las acciones y comportamientos del sistema, lo que centra el estudio de los conocimientos que se necesitarán para lograr que el usuario realice una interpretación adecuada de las tareas, y adicionalmente, el software responder a dichas interpretaciones. Para lo anterior en *HCI*, se tienen algunas directrices generales para lograr una adecuada percepción de la información por parte del usuario [47] como: legibilidad de la pantalla y calidad de la imagen, asociado con el uso adecuado de colores, uso de contrastes para visualización de imágenes, todo con el fin de ayudar el procesamiento visual y llamar la atención del usuario; Manipulación y dispositivos de entrada que corresponde a la selección de dispositivos que se acomoden para lograr la manipulación de la interfaz en diferentes entornos; Uso de metáforas y analogías que permite al usuario “dibujar” un conocimiento global existente e identificarlo en diferentes entornos.

Con respecto a la integración de este concepto con *Adaptación*, se encontró que usa cuatro conceptos de adaptación: Perfil Estático y Modelo de Despliegue (Navegación, Contenido y Presentación). En el perfil estático se maneja el conocimiento básico del usuario como su nacionalidad, que para el caso del procesamiento cognitivo se puede ver el uso de metáforas/analogías según las representación dadas por el lugar de nacimiento del mismo. Con respecto al Modelo de Despliegue muestra que el procesamiento cognitivo se ve representado cuando un sistema se modifica para que la presentación, la navegación y el contenido se ajusten de tal forma que el usuario pueda interpretar el sistema. Un ejemplo de lo anterior es cuando un sistema ajusta los contenidos de una aplicación según las condiciones del dispositivo que está utilizando el usuario y su interacción con los mismos.

En *Adaptación*, las características mentales del usuario son usadas para ajustar los sistemas a sus formas de aprender [48], según su nivel de conocimiento [4] o si tiene alguna dificultad de aprendizaje [48].

### *Características Físicas*

Las características físicas se refieren a aspectos físicos del usuario que pueden afectar su interacción con los sistemas como problemas de visión, diversidades funcionales o problemas motores [35]. En *HCI*, estas características son usadas en tiempo de diseño para diseñar el modelo de tareas, con el objetivo que el sistema pueda ser usado por cierto tipo de usuario. Algunos ejemplos son los presentados en [40][49][50]. En *Adaptación*, las características físicas hacen parte del perfil estático del usuario; dichas características físicas afectan el modelo de despliegue del usuario (navegación, presentación y contenido) y la forma en que el usuario puede realizar cierto tipo de tareas. Es importante resaltar, que en *HCI* estas características son tomadas en tiempo de diseño y en *Adaptación* estas características se toman en cuenta en tiempo de ejecución.

#### 2.1.2. Principios Cognitivos

Wang en [51], presenta los principios cognitivos como *principios estéticos*, que las personas van a aplicar en la percepción e identificación de las figuras humanas perfectas, objetos físicos, y el entorno natural. Dichos principios cognitivos, según Wang son [51]: *Asociación, Simetría Perfección, Abstracción, Categorización, Análisis y Apreciación* (ver Anexo III). Estos principios se ven reflejados en dos conceptos usados en *HCI*: *i) Análisis Cognitivo de Tareas* que es la representación de las tareas que el usuario realiza en el sistema; y *ii) Principios de la Gestalt*, que son leyes de percepción, que indican cómo el cerebro organiza de mejor manera los elementos que percibe [52].

##### 2.1.2.1. Análisis Cognitivo de Tareas

En *HCI* según Crystal *et al.* [53], es fundamental en el diseño de sistemas tener una clara de comprensión de lo que los usuarios quieren hacer, cuáles son sus funciones y cuál es la naturaleza de las tareas (su descripción). El análisis cognitivo de tareas se encarga de realizar una rigurosa caracterización estructurada de la actividad del usuario en el sistema [53]. Una técnica para realizar el análisis es crear un diagrama estructurado donde se especifiquen las tareas de manera jerárquica (tareas y sub-tareas) junto con las relaciones y grado de dificultad de las mismas. Este tipo de diagramas apoyan específicamente la forma en que el usuario va a navegar el sistema, así como se trabaja en el entorno de adaptación.

Por el lado de la *Adaptación* también se realiza un Modelo de Tareas tanto a nivel de sistema como de usuario. Dicho modelo de tareas es usado para mejorar aspectos de uso del sistema (*e.g.*, minimizar cantidad de clics) según características del usuario como la experiencia de uso del mismo. El modelo de tareas, en adaptación, es conocido también como Modelo de Uso que detalla la información acerca de las tareas como su tipo, relaciones temporales y condiciones [40].

##### 2.1.2.2. Principios de la Gestalt

Las leyes de la Gestalt, como se expone en el Anexo III, se basan en la teoría que el “*cerebro transforma lo percibido en algo nuevo, algo creado a partir de los elementos que percibe para*

*hacerlo coherente aun pagando a veces el precio de la inexactitud*” [52]. Con base en lo anterior, las tareas del cerebro se centran en cuatro aspectos [52]: *i)* delimitar contornos y separar objetos (figura y fondo); *ii)* unir o agrupar elementos (similitud, continuidad, destino común); *iii)* comparar características de uno con otro (contraste - similitud); *iv)* en destacar lo importante de lo que es accesorio (figura y fondo); *v)* en rellenar huecos en la imagen percibida para que sea íntegra y coherente (Ley de cierre).

En *Adaptación*, las leyes de la Gestalt no se encuentran implícitas. Sin embargo, estas leyes se encuentran relacionadas con la presentación adecuada de contenido y de estructuras que puedan ser percibidas por diferentes tipos de usuario, así como lo expone Karpich[54]. Las leyes pueden ser aplicadas al diseño de Interfaces, “*como un modo de ayudar a nuestros usuarios a comprender de forma más rápida el funcionamiento de un software o aplicación web*” [54].

### 2.1.3. Diseño Interfaz de Usuario

La construcción de interfaces de usuario es tanto una cuestión de diseño como de ingeniería. Estos temas tienen que ver con la metodología y la práctica del diseño de la interfaz. Otros aspectos del proceso de desarrollo incluyen la relación del desarrollo de interfaz (interfaces de usuario) y la ingeniería (software y hardware) [13]. En *HCI*, para el diseño de interfaces de usuario existe una metodología llamada *LUCID* en la cual se realizan principalmente tres fases [30]: *i)* Fase de Concepción y Descubrimiento; *ii)* Fase Diseño Base; *iii)* Fase de Implementación.

Sin embargo, estas fases no se encontraron relacionadas con ninguno de los conceptos utilizados en adaptación. En este punto se resalta una contribución para la integración de ambas áreas, específicamente en la formalización de los procesos de adaptación de interfaces tomando en cuenta lo estructurado por *HCI*.

### 2.1.4. Plasticidad

La plasticidad es la capacidad de los materiales de expandirse y contraerse según las condiciones y/o limitaciones naturales, sin romperse, preservando su continuo uso [55]. Por analogía, la plasticidad en *HCI*, es la capacidad de las interfaces de usuario de soportar variaciones físicas y del medio ambiente preservando la facilidad de uso [55].

En adaptación el concepto de plasticidad se ve reflejado tanto a nivel de presentación como de contexto de uso. El contexto de uso debido a que la adaptación busca que aunque cambie el entorno del usuario, sea comprensible para el sistema y sea transparente el cambio para dicho usuario.

HCI			ADAPTACIÓN									
			Modelo de Usuario		Modelo de Despliegue			Modelo de Tareas		Contexto de Uso	Proceso de Adaptación	
			Estático	Dinámico	Navegación	Contenido	Presentación	Sistema	Usuario		Perfilamiento	Enriquecimiento
Modelo Interfaz de Usuario	Interacciones	Paradigmas	+							+		
		Diseño de Interacciones		+			+			+		
		Tipos de Interacción										
	Layout		+	+								
	Descripción del Usuario (Factores Humanos)	Ergonomía		+								
		Lenguaje								+		
		Procesamiento Cognitivo de la Información										
Características Físicas												
Principios Cognitivos	Análisis Cognitivo de Tareas						+					
	Principios de Gestalt											
Diseño de Interfaz de Usuario	Fase de Concepción y Descubrimiento		+	+				+	+			
	Fase Diseño Base			+	+	+	+	+	+			
	Fase de Implementación											
	Plasticidad											

**Figura 8. Matriz de Integración Conceptual Propuesta.**

(+) Significa que la técnica/método/concepto de *HCI* podría complementar el concepto de *Adaptación*; (+) Significa que la técnica/método/concepto de *Adaptación* podría complementar los conceptos de *HCI*.

## 2.2. Matriz de Integración Conceptual Propuesta

En esta sección se presenta la Matriz de Integración Conceptual Propuesta, la cual representa el análisis realizado acerca de las posibles relaciones que podrían crearse entre ambas áreas: donde *HCI* puede dar formalismo al área de *Adaptación* y cómo la adaptación puede enriquecer los conceptos/métodos dados por *HCI* (Figura 8). A continuación se presentará la explicación de cada uno de los cruces propuestos.

### 2.2.1. Adaptación en HCI

A continuación se exponen cada uno de los cruces presentados con respecto a cómo se pueden reforzar algunos de los conceptos de *HCI* desde las nociones dadas por *Adaptación*.

#### 2.2.1.1. Perfil estático

El perfil estático, en *Adaptación*, representa aquellos datos del usuario que no cambian su estado constantemente (sección 1.1.1). A continuación se propone cómo podría este perfil enriquecer algunos conceptos de *HCI*.

##### *Paradigmas*

Los paradigmas de interacción extienden la accesibilidad a la computación a usuarios con diversas características como edades, niveles de habilidad, estilos cognitivos, lenguajes y capacidades sensoriales y motoras. El tipo de paradigma asociado a cada usuario, según características especiales del mismo, podría enriquecer el conocimiento del usuario mejorar la interacción del mismo con el sistema.

##### *Layout*

La creación de un perfil estático de *Layout*, permitiría darle flexibilidad a los elementos de la interfaz. Dicha flexibilidad se vería reflejada dados los cambios que podrían tener los elementos de la interfaz si sus características base fueran enriquecidas con características estáticas que cambien su estructura en el tiempo. Por ejemplo, darle una intencionalidad a cada elemento de la interfaz.

#### 2.2.1.2. Perfil dinámico

El perfil dinámico podría ser usado para mejorar la descripción de los aspectos dinámicos del usuario, en los conceptos de *HCI* como el diseño de interacciones, el *layout* y la ergonomía.

##### *Diseño de interacciones*

El diseño de interacciones se construye generalmente con base en un perfil inicial estático del usuario. Dado que el usuario puede en el tiempo cambiar alguna de sus características, se podría ampliar el diseño de interacciones para que se tengan en cuenta los aspectos dinámicos del usuario. Lo anterior, podría llevar a una predicción dinámica de interacciones.

### *Layout*

Es el conjunto de elementos que componen las interfaces, elementos construidos con base en un perfil estático de usuario. Sin embargo, esto los convierte en componentes estáticos de la interfaz. Por tal motivo se propone extender la caracterización de *Layout* teniendo en cuenta aspectos que puedan ajustar su estado según otros perfiles (*e.g.*, el de usuario o el de contexto).

### *Ergonomía*

La ergonomía maneja un perfil estático del usuario, en un ambiente poco cambiante. Sin embargo, existen características del usuario que cambian con el tiempo y que pueden afectar las decisiones ergonómicas tomadas al inicio del diseño de las interfaces. Así mismo, el usuario puede tener que desplazarse y las características de su ambiente cambiar y afectar la usabilidad del sistema. Por lo anterior, se propone que se puede realizar una caracterización dinámica de los aspectos ergonómicos que afectan el uso del sistema.

#### 2.2.1.3. Modelo de Tareas- Usuario

El modelo de tareas describe cuáles son las tareas que va a realizar el usuario en el sistema y cómo las va a realizar. En *HCI* se maneja el mismo concepto, sin embargo, no se tiene en cuenta que el usuario tiene preferencias que cambian con el tiempo, es decir, la forma en que se predijo va a realizar una tarea que puede cambiar el tiempo. Este aspecto dinámico a tener en cuenta es un aporte de la adaptación a *HCI*.

#### 2.2.1.4. Contexto de Uso

En general, el contexto de uso le da dinamismo a la interacción del usuario con el sistema. En *HCI*, según lo investigado no se tiene en cuenta que el contexto puede afectar la interacción de usuario con el sistema. A continuación se presentan algunos ejemplos de cómo el concepto de contexto de uso puede enriquecer algunos conceptos de *HCI*.

### *Paradigmas*

En *HCI*, el paradigma a usar para la interacción del usuario con el sistema se selecciona en tiempo de diseño. Sin embargo, el usuario puede cambiar de dispositivo lo que obligaría al usuario a seguir trabajando con un paradigma de interacción que no concuerda con las capacidades de su dispositivo de acceso. Por lo anterior, se propone que con base en el perfil de contexto dado por *Adaptación*, los paradigmas de interacción podrían ser dinámicos y cambiar según dichas características de contexto (*e.g.*, de un PC a un dispositivo móvil).

### *Diseño de interacciones*

El diseño de interacción al igual que la selección de paradigmas se escoge en tiempo de diseño y por tal es estático. No obstante, el usuario puede cambiar en el tiempo las preferencias de cómo desea interactuar con el sistema, o cambiar algún aspecto de su

contexto, y si no se “predijo” dicha interacción (interacción en contextos diferentes), el sistema no podrá ajustarse a las nuevas necesidades del usuario. Por tanto, la *Adaptación* por medio del perfil de contexto puede darle al diseñador de interacciones una base para saber qué posibles variables del contexto del usuario pueden ejercer un efecto sobre su interacción con el sistema.

### *Lenguaje*

En *HCI*, el uso del lenguaje tiene una alta relevancia; esto dado que depende en gran medida de éste que el usuario aprenda a usar el sistema (ver Anexo III). Sin embargo, el uso del lenguaje se ha limitado a presentar los sistemas en diferentes idiomas, para contexto de uso diferentes. Por tal motivo, el perfil de contexto puede apoyar el uso de lenguaje según diferentes dominios, no sólo el idioma. Por ejemplo, el uso de terminología en países diferentes puede afectar la interacción del usuario.

#### 2.2.2. *HCI en Adaptación*

A continuación se exponen cada uno de los cruces presentados en la Figura 8, con respecto a cómo se pueden reforzar algunos de los conceptos de *Adaptación* desde el punto de vista del área de *HCI*.

##### 2.2.2.1. Diseño de Interacciones

Los conceptos dados por el diseño de interacciones (Anexo III) pueden ser usados en *Adaptación* para ampliar la presentación en el modelo de despliegue. Dado que el diseño de interacciones maneja el concepto de “predecir” cómo será la interacción del usuario con el sistema, en adaptación se podría utilizar esta técnica para lograr ajustar la presentación tanto a las características del usuario como a la forma en que van a interactuar con la misma.

##### 2.2.2.2. Análisis Cognitivo de Tareas

En *HCI* se resalta la necesidad de una clara comprensión de lo que los usuarios quieren, deben y pueden hacer con el sistema. Para lo anterior, en *HCI* existen técnicas como la estructuración jerárquica de tareas con base en estudios de sobre el usuario (*e.g.* comportamiento, análisis etnográfico, entre otros) con el fin de diseñar la interfaz y la navegación de la misma según el usuario.

##### 2.2.2.3. Diseño Interfaz de Usuario

En el área de *HCI* se tienen diferentes metodologías para el diseño de interfaces de usuario, como se especificó en la sección 0, *LUCID* es una de ellas. Sin embargo, en *Adaptación* no se encontró un proceso estructurado para la realización de interfaces de usuario. El aporte de cada una de las fases de *LUCID* al área de adaptación se explicarán a continuación.

### *Fase Concepción y Descubrimiento*

Para esta fase, el área de *HCI* usa técnicas para conocer la visión del usuario y el desarrollador. En *Adaptación*, la visión se centra más en las características del usuario; no se tiene establecido un proceso para la recolección de requerimientos específicos para el diseño de la interfaz de usuario. Por lo anterior, se pensó que esta fase puede ser usada tanto para la construcción del modelo de usuario como para el diseño del modelo de tareas centradas en el diseño de la interfaz de usuario.

### *Fase Diseño Base*

El diseño base con los prototipos iniciales de la interfaz de usuario. Esta fase abarca un sub-proceso para la definición de reglas de diseño que deben ser seguidas en el diseño de una interfaz (*e.g.*, uso adecuado de colores [56]). En *Adaptación*, estas reglas de diseño podrían ser tomadas en cuenta en la construcción de los modelo de despliegue (presentación, navegación y contenido); todo esto para lograr ajustar las interfaces de usuario según las características de usuario y contexto manteniendo los estándares de diseño dados por *HCI*.

Tomando como base las matrices de integración presentadas en esta sección, se realizó un modelo de adaptación para formalizar la integración de ambas áreas. A continuación se presenta dicho modelo y la descripción del mismo.

## 3. MODELO DE ADAPTACIÓN

Con el fin de formalizar lo realizado en la Matriz de Integración Conceptual (sección 2), se creó un modelo de adaptación que representa cómo podría ser la integración de las áreas a nivel de interfaz de usuario. Para esto se crearon cuatro modelos: *i*) Modelo de Domino, muestra cómo es la integración entre cada uno de los modelos; *ii*) Modelo de Usuario, contiene todas aquellas características de usuario que son necesarias para realizar la adaptación de las interfaces; *iii*) Modelo de Interfaz: este modelo se creó con el fin de caracterizar los aspectos de la interfaz que podrán ser adaptados y que a su vez mantendrán los estándares de diseño dados por *HCI*; *iv*) Modelo de Contexto: se especifican cuáles son las características del contexto de usuario que afectan la interfaz de usuario.

A continuación se presentan y explican cada uno de estos modelos. Para un mayor detalle, la descripción de cada uno de los modelos se encuentra en el Anexo IV junto con la formalización de los mismos (usando la notación *BNF* [57]).

### 3.1. Modelo de Dominio

Este modelo presenta cómo es la interacción entre cada uno de los modelos y cómo es el proceso que se realiza para lograr la adaptación dinámica de interfaces de usuario. Como primera medida, existe una interfaz base que será adaptada según las características del usuario y su contexto. Para lograr dicha adaptación, cada interfaz tiene asociado un usuario cuyas características se encuentran especificadas en un perfil de usuario. En segunda medida,

para lograr que se puedan adaptar los elementos de la interfaz es necesario un modelo que contiene dichos elementos y sus características las cuales serán transformadas según la información ofrecida por el contexto y el perfil del usuario. Es importante resaltar que para lograr esto, es necesario el uso de filtros que permitan establecer información con la que se puedan activar, desactivar o cambiar características de los elementos de la interfaz.

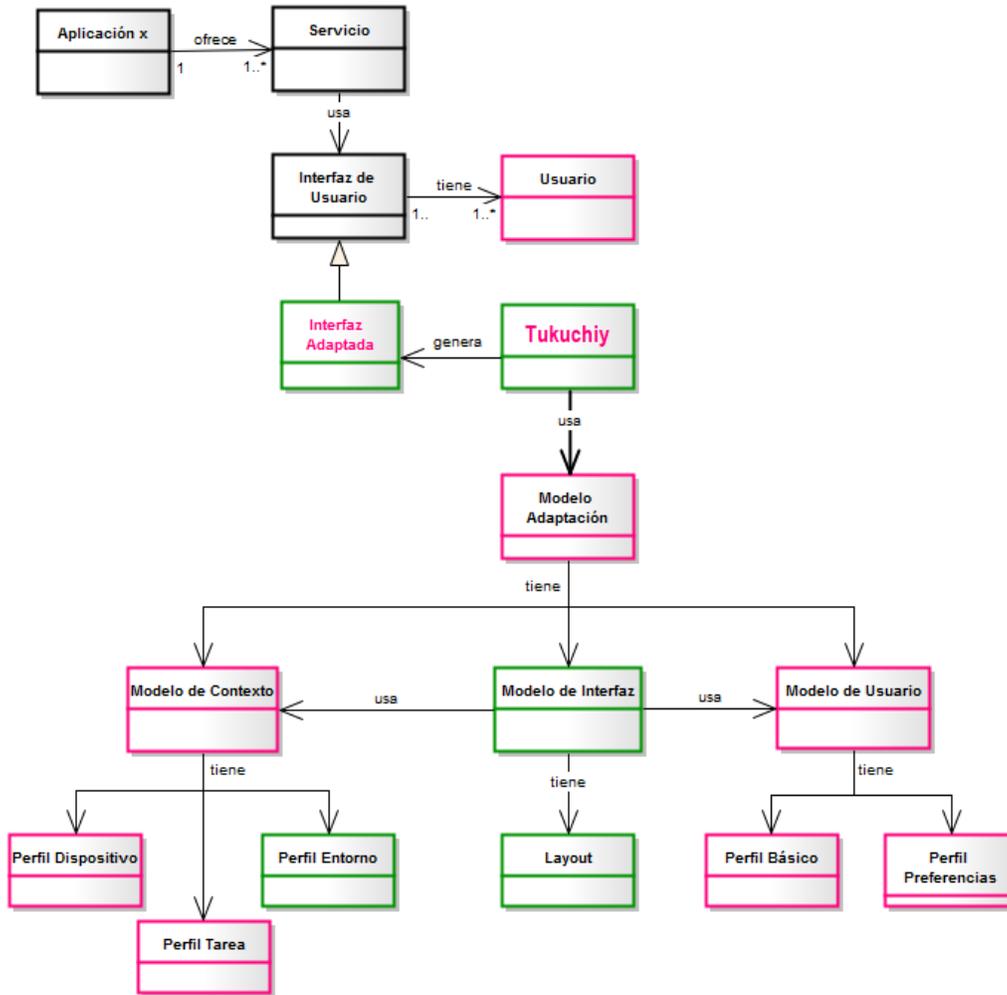


Figura 9. Modelo de Dominio

### 3.2. Modelo de Usuario

En el perfil de usuario se modelan aquellos aspectos del usuario que definen al mismo dentro del sistema. Como se puede apreciar en la Figura 10, el perfil de usuario está organizado en dos conjuntos: Características Básicas y Preferencias. Por el lado de las Características Básicas se tienen en cuenta tres aspectos del usuario: i) Características Físicas, específicamente si el usuario tiene algún tipo de diversidad funcional o problema de salud (e.g., daltonismo); ii) Características Motivacionales que son aquellas relacionadas con el

nivel y la forma de aprendizaje del usuario; y iii) Características Emocionales que expresan el estado emocional del usuario y qué implicaciones tienen sobre su rendimiento en el sistema.

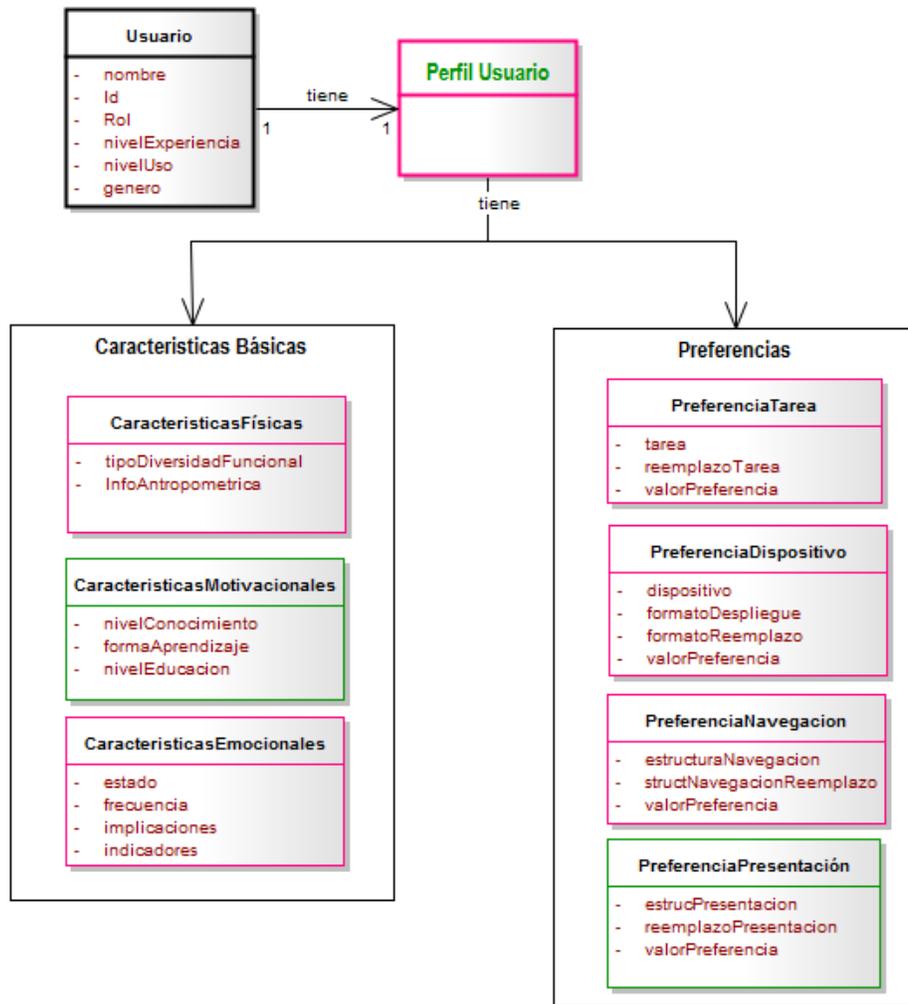


Figura 10. Perfil de Usuario

Por el lado de las Preferencias se establecieron cuatro tipos: *i*) Preferencias de Tareas, ya que pueden realizarse de diferentes maneras y el usuario puede tener preferencia por alguna de ellas (*e.g.* ejecutar un comando en vez oprimir un botón); *ii*) Preferencias de Dispositivo que están relacionadas con el/los tipos de formatos de presentación que prefiere el usuario, restringidas por las características contextuales del dispositivo de acceso; *iii*) Preferencias de Navegación, relacionadas con la interacción del usuario con el sistema; y *iv*) Preferencias de Presentación, que tiene el usuario con respecto a los elementos que componen la interfaz (*e.g.* el color, la ubicación de un botón). En la Tabla 4, se puede ver un ejemplo de la formalización de las preferencia de usuario por medio de la notación BNF.

Tabla 4. Representación BNF preferencias

Preferencias
<b>&lt;Preferencias&gt;</b> ::= <PreferenciasTarea> <PreferenciasDispositivo> <PreferenciasPresentación> <PreferenciasNavegación>
<b>&lt;PreferenciaTarea&gt;</b> ::= <Tarea><Reemplazo_Tarea> <Valor_Preferencia>
<Tarea> ::= <PerfilTarea>
<Reemplazo_Tarea> ::= <Tarea>
<Valor_Preferencia> ::= <Número>
<b>&lt;PreferenciaDispositivo&gt;</b> ::= <Dispositivo> <FormatoDespliegue> <FormatoReemplazo> <Valor_Preferencia>
<Dispositivo> ::= <PerfilDispositivo>
<FormatoDespliegue> <FormatoReemplazo> ::= Video   Texto   Imagen   ...
<Valor_Preferencia> ::= <Número>
<b>&lt;PreferenciaPresentacion&gt;</b> ::= <EstructuraPresentacion> <ReemplazoPresentación> <Valor_Preferencia>
<EstructuraPresentacion> ::= {<PrimitivaGui>}* <Layout>
<ReemplazoPresentación> ::= <EstructuraPresentación>
<Valor_Preferencia> ::= <Número>
<b>&lt;PreferenciasNavegación&gt;</b> ::= <EstructuraNavegación> <ReemplazoNavegación> <Valor_Preferencia>
<EstructuraNavegación> ::= {<Tarea>}*
<ReemplazoNavegación> ::= {tarea}*
<Valor_Preferencia> ::= <Número>

### 3.3. Modelo de Interfaz

Dado que el proyecto se enfocó en mejorar la usabilidad de los sistemas por medio de la *Adaptación* de las interfaces de usuario junto con los estándares de diseño dados por *HCI*, se vio la necesidad de crear un perfil de interfaz que integra los conceptos usados por ambas áreas. Como se puede observar en la Figura 11, aunque la interfaz está definida en su mayoría por conceptos dados por *HCI* se le integraron algunos conceptos usados en *Adaptación*. Por el lado de *HCI*, el perfil de interfaz muestra aquellos elementos primarios que componen una interfaz de usuario (controles, ventanas, *layout*, entre otros) junto con su intencionalidad; dicha intencionalidad representa el objetivo de cada elemento de la interfaz (*e.g.*, el botón de cerrar está asociado a una intensión de peligro).

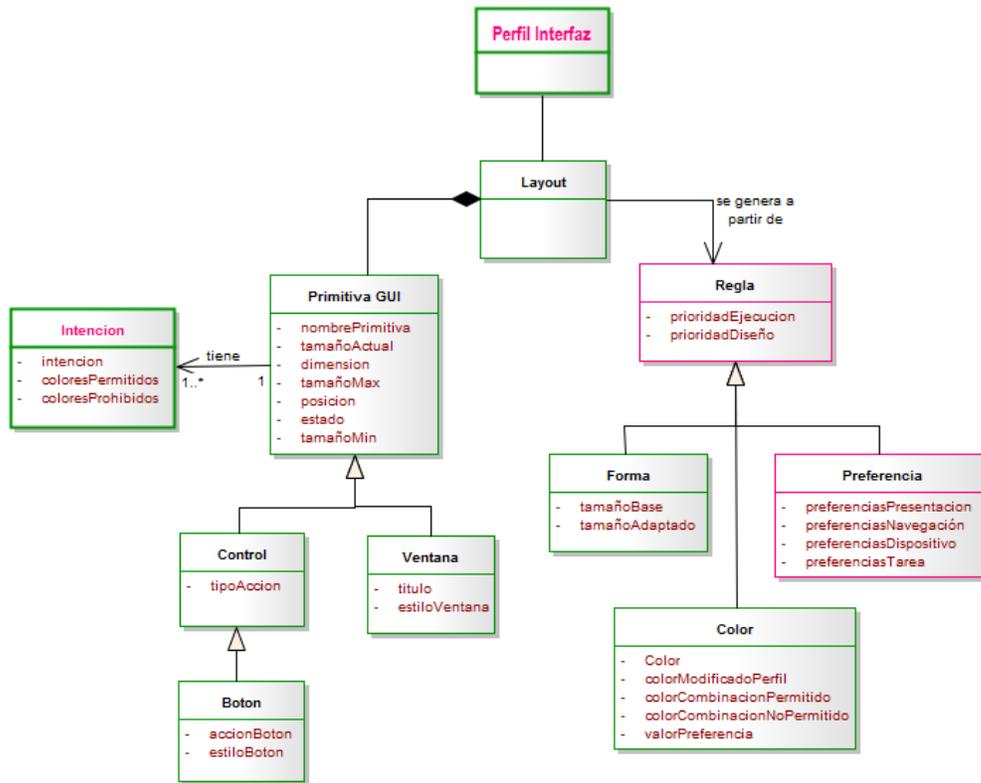


Figura 11. Perfil de Interfaz

Con respecto al área de *Adaptación* se incluyeron dos conceptos: i) Regla, que representa las reglas que son necesarias para lograr la adaptación de la interfaz; y ii) Preferencias que son aquellas tendencias que tiene el usuario específicamente en cuanto al diseño de la interfaz (e.g. color de botones o texto).

### 3.4. Modelo de Contexto

El perfil de contexto muestra aquellas características del entorno del usuario que según el modelo de *Runa-Kamachiy* son relevantes para mejorar la usabilidad de las interfaces. En la Figura 12, se presenta el perfil de contexto en el que se representan los conceptos tomados de *HCI* que son: i) Perfil Ergonómico que contiene información acerca de las características físicas que rodean al usuario y las restricciones asociadas a éstas; ii) Perfil de Entorno que representa las condiciones del ambiente del usuario asociadas (e.g., la luminosidad o el clima); y el iii) Perfil de Tarea que es la representación de las tareas que serán realizadas por el usuario junto con las actividades que la componen.

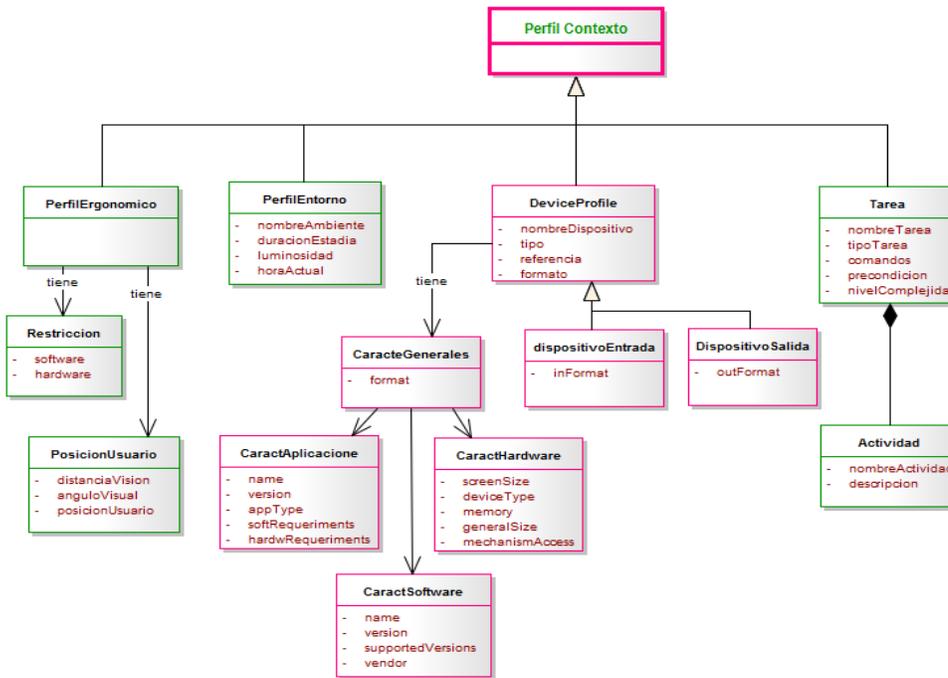


Figura 12. Perfil de Contexto

Por el lado de *Adaptación* se estructuró el Perfil de Dispositivo que contiene las características de los dispositivos de entrada y salida desde los cuales el usuario accede a la aplicación. Este perfil fue creado tomando como base el Composite Capability/Preference Profile (CC/PP) [15]. El estándar CC/PP se complementó con el concepto de que el dispositivo podía ser de entrada o de salida, no sólo de salida; esto se hizo dado que el proyecto está pensado para mejorar la interacción entre el usuario con los sistemas y pueden tener dispositivos de entrada (e.g. Micrófono) que pueden brindar conocimiento sobre el contexto de usuario.

En esta sección se mostraron los modelos de adaptación diseñados con el fin de integrar los conceptos de la matriz de integración conceptual. A continuación se presentará *Tukuchiy*, que es el *framework* que fue creado con el fin de validar si lo establecido en el Modelo de Integración y en los modelos de adaptación efectivamente apoyaban a la mejora de la usabilidad de las interfaces de usuario.

#### 4. TUKUCHIY: SISTEMA GENERADOR DINÁMICO DE INTERFACES DE USUARIO ADAPTADAS

Con la base teórica dada por el modelo de adaptación presentado anteriormente (sección 3), se desarrolló un sistema generador de interfaces dinámicas, llamado *Tukuchiy* (palabras en Quechua que significan “*Transformar*”), con el cual se busca validar el modelo de

integración conceptual dado por *Runa-Kamachiy*. Para la formalización del modelo se realizaron dos etapas: *i*) Diseño de la arquitectura del sistema usando el patrón *MVC* (por sus siglas en inglés *Model-View-Controller*) [58] (ver Figura 13); y *ii*) Diseño del sistema de reglas encargado de integrar los formalismos de *HCI* con los de Adaptación.

#### 4.1. Arquitectura

El diseño de *Tukuchiy* se realizó con base en el modelo de Adaptación de *Runa-Kamachiy* [7] (sección 2). Para el diseño de *Tukuchiy* se utilizó la arquitectura *MVC* (Model Driven Controller), cambiando el nombre del componente Modelo por Lógica para una mayor claridad en la explicación de los modelos como se presenta en la Figura 13.

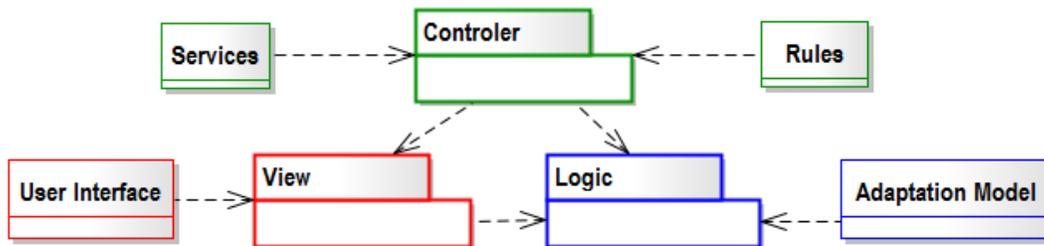


Figura 13. Arquitectura Tukuchiy

##### 4.1.1. Controlador

El componente controlador es el encargado de la comunicación entre el perfil de usuario, las reglas y la interfaz.

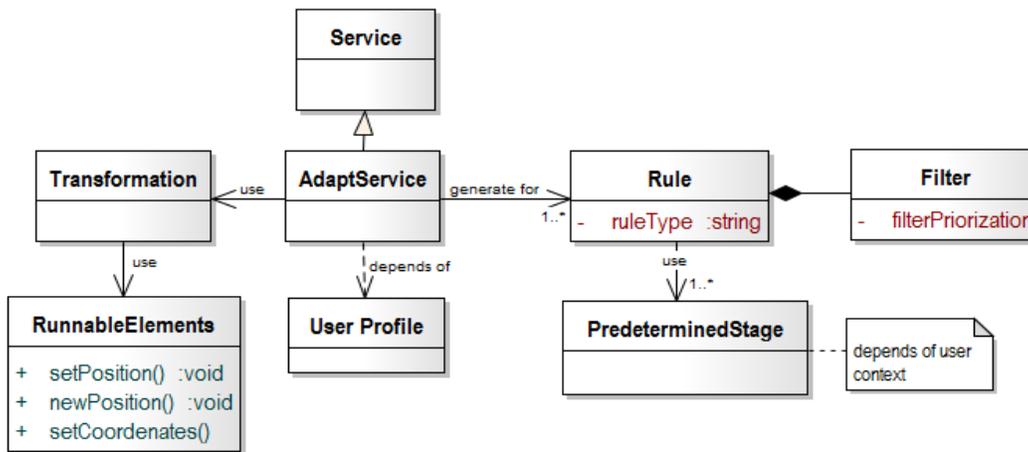


Figura 14. Arquitectura – Controlador

Dicha comunicación se centra en tomar los datos del usuario para ejecutar el sistema de reglas y obtener la información necesaria para realizar las transformaciones necesarias sobre la interfaz de usuario. En la Figura 14, se presenta la representación de la vista controlador de *Tukuchiy*.

### 4.1.2. Vista

Es la representación de las características de la interfaz de usuario que podrán ser modificadas con base en el perfil de usuario y contexto explicados anteriormente (Figura 15). Es importante resaltar que esta organización de la interfaz de usuario puede variar según el lenguaje de programación a usar y la forma de representar los elementos necesarios para la creación de una interfaz.

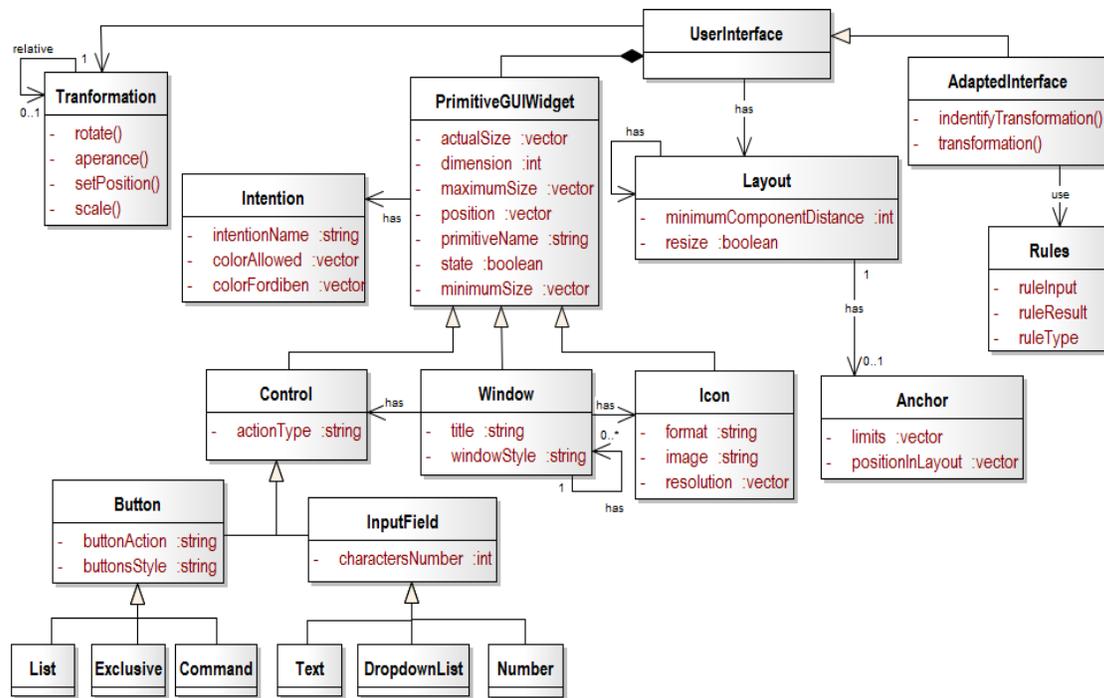


Figura 15. Arquitectura – Vista

### 4.1.3. Lógica

La Figura 16 muestra el componente de Lógica de *Tukuchiy*. Este componente se encarga de realizar los filtros necesarios para realizar la transformación de la interfaz según las características de usuario; de igual manera, es responsable de cargar los datos de usuario que son relevantes para la generación de la interfaz junto con la función de actualizar los datos del mismo. Adicionalmente, la lógica se encarga de hacer cumplir las leyes establecidas por *HCI*.

Para lograr la generación las interfaces de usuario dinámicamente con base en reglas dadas por *HCI* y adaptadas al usuario y su contexto, fue necesaria la creación de un sistema de reglas. Dicho sistema fue integrado dentro de *Tukuchiy* y será presentado en la siguiente sección.

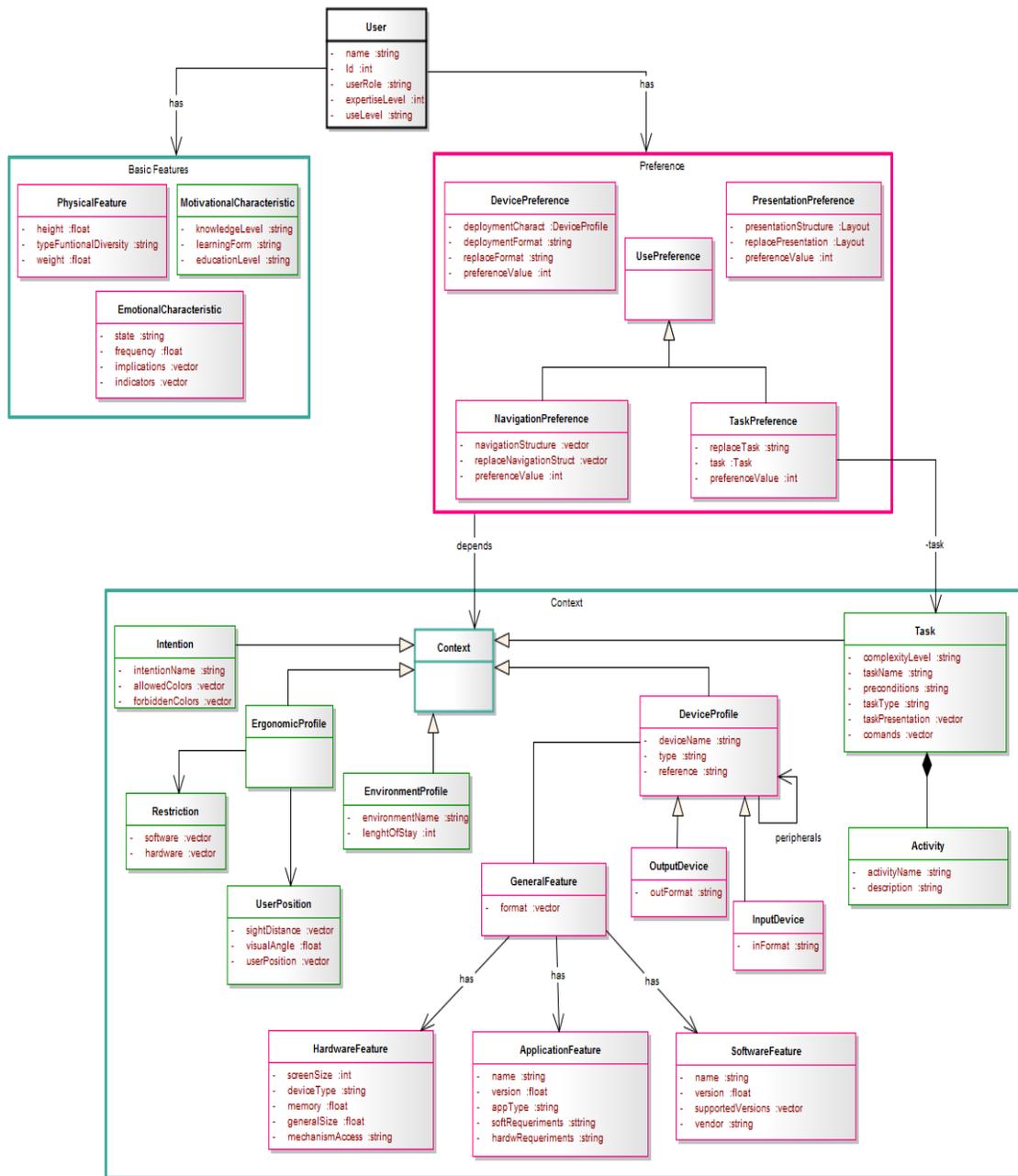


Figura 16. Arquitectura - Lógica

#### 4.2. Sistema de Reglas

El desarrollo de *Tukuchiy* se construyó un sistema de reglas, las cuales fueron priorizadas con el fin de prevenir posibles conflictos entre las mismas. En esta sección se mostrará en detalle cómo funciona cada una de las reglas mencionadas y cómo fue su implementación dentro de *Tukuchiy*. En la Figura 17, se muestra la interfaz base de *Tukuchiy*.

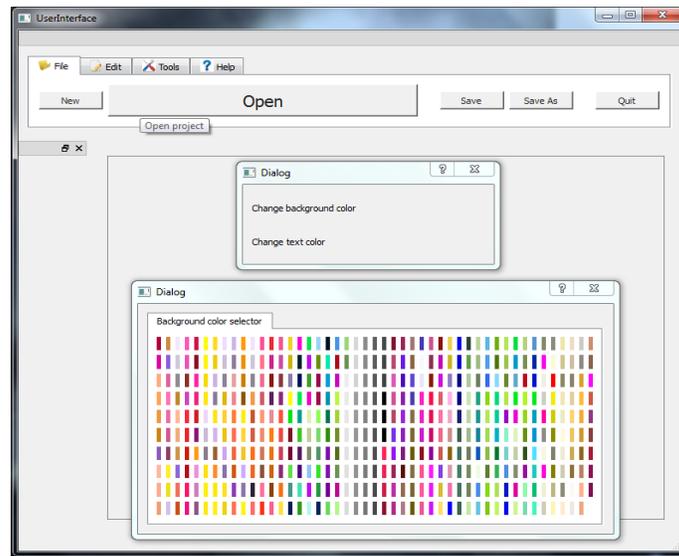


Figura 17. Interfaz Base Tukuchiy

#### 4.2.1. Reglas de Adaptación

En este sub-conjunto de reglas se plasmaron los conceptos de adaptación como ejemplo para la adaptación de las interfaces en tiempo de ejecución. Es importante resaltar que estas reglas de adaptación toman la información sobre el usuario con respecto a nivel de uso del sistema y sus preferencias específicamente en presentación.

##### 4.2.1.1. Ayudas

**Tukuchiy** realiza un filtro en el momento de iniciar el sistema en el cuál se hace una evaluación del nivel de usuario y de las preferencias en idioma que tiene el usuario registrado. Lo anterior se realiza de la siguiente forma:

- i). Identificación nivel de uso: el perfil del usuario tiene un atributo que especifica el nivel de uso que tiene el usuario en el sistema. Este nivel de uso se actualiza cada vez que el usuario sale del sistema.
- ii). Identificación idioma: en el momento de iniciar el sistema, el usuario escoge qué idioma prefiere.
- iii). Cambios en ayudas: tomando la información dada en i y ii, se realiza un cambio en los nombres de los elementos de la interfaz según el idioma preferido por el usuario; adicionalmente, se realiza un cambio dinámico en los *tooltips*<sup>5</sup> de los elementos gráficos según el nivel de uso que tiene el usuario. Actualmente, el sistema cuenta con

<sup>5</sup>Tooltip: un mensaje con información que aparece cuando se mantiene un cursor sobre un texto o un icono en un sitio web o en un programa de software. ( Cambridge Dictionaries)

dos niveles: novato y experto. Si el usuario es novato, los *tooltips* serán más detallados, de lo contrario, serán más concretos.

En la Figura 18, se puede apreciar cómo se realiza esta regla antes de mostrar la interfaz del usuario. Es importante aclarar, que para cada una de las ayudas se tienen creados *xml* donde se asocian los elementos de la interfaz con diferentes *tooltips* y nombres según lo establecido en esta regla (idioma y nivel de uso).

```
void UserInterface::reloadUserInterface()
{
    if(user->useLevel=="Novato")
    {
        //cargar novato
        if(this->language=="English")
        {
            loadUserLevelLaguageFile(":files/messages-en-rookie.xml");
        }
        else
        {
            loadUserLevelLaguageFile(":files/messages-es-rookie.xml");
        }
    }
    else if(user->useLevel=="Experto")
    {
        //cargar experto
        if(this->language=="English")
        {
            loadUserLevelLaguageFile(":files/messages-en-expert.xml");
        }
        else
        {
            loadUserLevelLaguageFile(":files/messages-es-expert.xml");
        }
    }
}
```

Figura 18. Regla adaptación de ayudas

Adicionalmente, en la Figura 19 se ve el manejo del *tooltip*, en *Tukuchiy*, para novatos (con poca experiencia de uso del sistema) y en la Figura 20 se puede ver los *tooltips* para los usuarios expertos, lo cuales se encuentran simplificados dada la experiencia de uso del mismos.

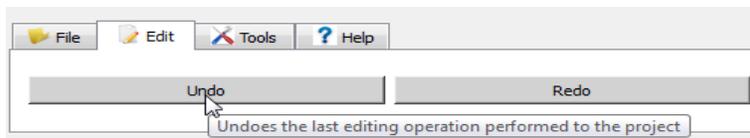


Figura 19. *Tooltip* detallado (Novato)

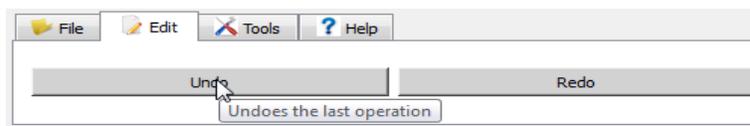


Figura 20. *Tooltip* simplificado (Experto)

#### 4.2.1.2. Preferencias de Colores

Cada usuario puede tener diferentes preferencias sobre qué colores quiere visualizar en cada elemento gráfico de la interfaz. Por tal motivo, para que se vean reflejadas estas

preferencias, se realizó una regla que se encarga de organizar la paleta de colores para que se visualicen según los gustos del usuario. Esta regla se realiza de la siguiente manera:

- i). Preferencias de usuario: inicialmente se realiza una lectura de cuáles son las preferencias del usuario con respecto a los colores. Es importante resaltar que cada vez que el usuario selecciona un color, se aumenta un contador el cual se toma como base para conocer qué colores son los históricamente más seleccionados por el usuario.
- ii). Priorización: con el conocimiento del nivel de preferencia de cada color, se realiza una reorganización de la paleta de colores ubicando de primeras el color con el color más usado y seguido por los demás colores en forma descendente de preferencia.

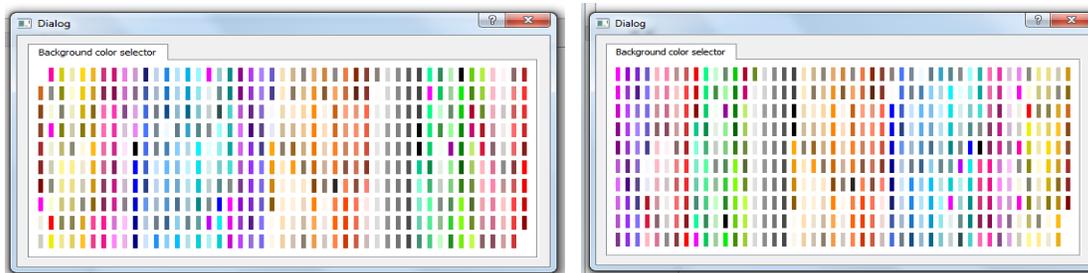
En la Figura 21, se puede ver un fragmento de cómo se organiza la paleta según el nivel de preferencia de colores que tiene el usuario.

```
void Dialog::initializeBg(map <string,vector<RGB> > palette,
    vector<pair<string,int> > colorPreferences)
{
    //Read RGB
    string r,g,b;
    //Create layouts
    QGridLayout *bgLayout=new QGridLayout;
    //Iterate palette map
    map<string,vector<RGB> >::iterator it;
    it=palette.begin();
    int cont=1;
    int rows=0;
    int columns=0;

    for(int i=0;i<colorPreferences.size();i++)
    {
        string nombreLlave=colorPreferences[i].first;
        vector<RGB> colores=palette[nombreLlave];
        //Create color from rgb
        for(int j=0;j<colores.size();j++,cont++)
        {
            RGB color=colores[j];
            colorblind aux;
```

Figura 21. Regla preferencias de colores

Como se ven en la Figura 22, en *Tukuchiy* esta regla se refleja en la organización dinámica de la paleta de colores según el uso (número de veces que se seleccionó) de los colores.



(a) Paleta de colores en condición normal

(b) Paleta de colores organizada por preferencias

Figura 22. Preferencia de colores

## 4.2.2. Reglas de HCI

En este sub-conjunto de reglas se plasmaron algunos de los estándares dados por *HCI* que, después de un estudio de los mismos, se vio la posibilidad de mantenerlos en tiempo de ejecución. A continuación se presenta cómo es cada uno de estos filtros.

### 4.2.2.1. Condiciones Físicas

Con base en los datos que se tiene del usuario, el sistema se centra en apoyar dos dificultades físicas: Daltonismo y Miopía (ver Figura 23). Con base en estas problemáticas, el sistema tiene dos procesos: *i*) simulación y polarización de colores; y *ii*) ampliación de botones.

```
void UserInterface::ButtonCustomization_Pressed_ui()
{
    focus=this->focusWidget();
    rules->changeCustomPalette(((Button*)focus));
    ((Button*)focus)->changeColor
        {user->userPhysical.getTypeFuntionalDiversity(),
          user->colorPreferences, this->delta};
}
```

Figura 23. Ejemplo regla condiciones físicas usuario

Con respecto al cambio de colores de la paleta según el tipo de daltonismo del usuario se realiza el siguiente filtro:

- i*). Identificación de daltonismo: en este paso se le muestra al usuario una imagen (al momento de ingresar al sistema) correspondiente a un plato del *Test de Ishihara* [59] (ver Figura 33) . Este test muestra si el usuario tiene o no problemas de daltonismo; si lo tiene, especifica el tipo y con base en esto, se realiza la simulación de colores.
- ii*). Simulación de colores: con base en el código usado en [60], se realiza una simulación en la cual se cambian los colores de la paleta para simular cuáles son los colores que ve la persona según el tipo de daltonismo.
- iii*). Polarización de colores: después de realizar la simulación, se comparan los colores base con los simulados y se toman los valores de error. Lo anterior se usa para sesgar los colores originales cuando se presenta el error y transformarlos a una para que estén dentro de una porción del espectro de colores que sea visible por el usuario [60].

A continuación, en la Figura 24, se presenta una parte de la codificación de la regla para el cambio de colores. Es importante resaltar que esta regla se realiza al momento que el usuario desee personalizar los colores de la interfaz y se le deba presentar la paleta de colores.

```

// Initial LMS
float l, m, s;
float L = (17.8824f * r) + (43.5161f * g) + (4.11935f * b);
float M = (3.45565f * r) + (27.1554f * g) + (3.86714f * b);
float S = (0.0299566f * r) + (0.184309f * g) + (1.46709f * b);

else if (enfermedad=="Tritanope")
{
    l = 1.0f * L + 0.0f * M + 0.0f * S;
    m = 0.0f * L + 1.0f * M + 0.0f * S;
    s = -0.395913f * L + 0.801109f * M + 0.0f * S;
}

// Convert to RGB
this->R = (0.0809444479f * l) + (-0.130504409f * m)
        + (0.116721066f * s);
this->G = (-0.0102485335f * l) + (0.0540193266f * m)
        + (-0.113614708f * s);
this->B = (-0.000365296938f * l) + (-0.00412161469f * m)
        + (0.693511405f * s);

int r2,g2,b2;
r2=R;g2=G;b2=B;
R=abs((r2%256))*1.0;
G=abs((g2%256))*1.0;
B=abs((b2%256))*1.0;

```

Figura 24. Fragmento transformación colores (Daltonismo)

Adicionalmente, el *test* realizado para conocer si tiene problemas de daltonismo, se realiza varias veces; esto dado que pueden existir factores externos que pueden afectar las respuestas iniciales del usuario (e.g. resolución de la pantalla o la iluminación del ambiente).

En *Tukuchiy*, la paleta de colores se transforma según cada una de los tipos de daltonismos identificados anteriormente. En la Figura 25, se puede ver como se ven cada una de dichas paletas.



Figura 25. Paletas según tipo de daltonismo

Por el lado de la ampliación de los botones se realiza el siguiente algoritmo:

- i). Identificación de problema visual: esta identificación se realiza de manera explícita, es decir, se le pregunta el usuario si tiene problemas relacionados con miopía. Esta información queda depositada en el perfil del usuario.

- ii). Ampliación del botón (si es necesario): este proceso realiza cambios sobre las propiedades de los botones y cada vez que el usuario pase el apuntador sobre el botón, éste ampliará su tamaño. Adicionalmente, los demás botones que se encuentren dentro del mismo grupo funcional, se auto-organizarán con el fin de no dañar la estructura de la interfaz.

En la Figura 26, se puede ver cómo se realiza el proceso de cambio en la escala del botón según el perfil del usuario. Es importante resaltar que esta regla está relacionada con lo establecido por la *Ley de Fitts* [61].

```
void UserInterface::ButtonMouseOver_ui()
{
    focus=focusWidget();
    if(focus->inherits("Button"))
    {
        bool fittsTrue=rules->
            evaluateFitts(user->userPhysical.
                getScaleFuntionalDiversity());
        if(fittsTrue)
            ((Button*)focus)->changeSizeFitts();
    }
}
```

Figura 26. Regla escala de botones

En *Tukuchiy*, todos los botones tienen la propiedad de ampliar su tamaño, dicha propiedad es la que activa o desactiva según el perfil del usuario, así como se ve en la Figura 27.

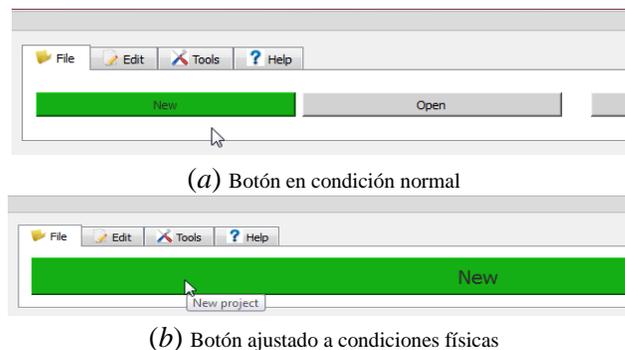


Figura 27. Regla ampliación de botones

#### 4.2.2.2. Combinación Efectiva de Colores

En *HCI* existen algunos estudios acerca de cómo debe ser la combinación correcta de colores como el presentado por Wright *et al.* [56]. En dicho estudio se plantea cómo debe ser la combinación correcta de colores en el diseño de interfaces. Sin embargo, estos estudios son usados en las etapas iniciales del diseño de la interfaz; luego se pierden durante la ejecución de las mismas en el momento que se realiza la personalización (transformación según el perfil de usuario) de la misma. En la Figura 28, se muestra cómo se realiza la regla de cambios en la

paleta de colores según la combinación de colores. Para lograr mantener estas reglas de combinación de colores en tiempo de ejecución en **Tukuchiy** se realiza el siguiente algoritmo:

- i). Color del padre: se identifica cuál es el color del elemento gráfico que contiene al elemento al que se le va a realizar el cambio de color de fondo o de texto.
- ii). Color de hijos: se identifica cuál de los elementos gráficos que hacen parte del elemento al que se le va a realizar el cambio de color de fondo o de texto.
- iii). Filtro de colores: teniendo los colores de los elementos padre e hijos, se realiza un filtro a la paleta de colores con el fin de eliminar los colores que según Bedolla [62], no combinan. Las combinaciones de colores se tienen organizadas de forma pesimista, es decir, se tiene una lista de qué colores no combinan con los identificados en los pasos anteriores.
- iv). Presentación paleta de colores: por último ya se realiza la presentación de la paleta de colores filtrada.

```
void Rule::changeCustomPalette(Button *w)
{
    //quitar texto de bg y bg de texto
    removeOriginalStyleColorGroup(w);

    //quitar grupo color padre
    removeParentColorGroup(w);

    //quitar grupo color hijos
    removeChildrenColorGroups(w);

    //quitar prohibidos segun intencion
    removeIntentionGroupColor(w);
}
```

Figura 28. Cambios en Paleta de Colores

En **Tukuchiy**, esta regla se ejecuta de manera dinámica cada vez que el usuario va a realizar algún cambio sobre el color de las mismas. Como se ve en la Figura 29, la paleta reduce la cantidad de colores presentados para que el texto pueda ser visto sobre un botón de color Rojo.

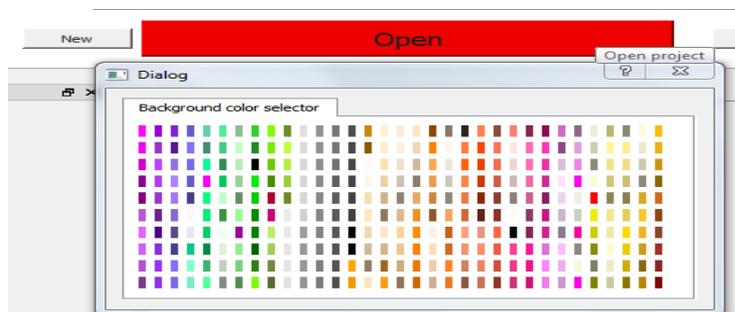


Figura 29. Combinación de colores

### 4.2.2.3. Intencionalidad

Un estudio presentado por Bedolla[62], muestra que los colores están asociados a ciertos estados psicológicos por lo cual tienen intencionalidades específicas (e.g. el color rojo es asociado con situaciones de peligro). Lo anterior se tiene en cuenta para asignar a cada elemento de la interfaz una intencionalidad (asociada a un color) para que dichos elementos no pierdan su esencia. El algoritmo creado tiene la siguiente estructura:

- i). Intencionalidad del elemento: en primera medida se tiene una tabla con la intencionalidad y los colores permitidos y los no permitidos de la misma. Es importante aclarar, que cada uno de los elementos de la interfaz pueden o no estar relacionados a una intencionalidad. Esta asignación se tienen en la descripción de los elementos de la interfaz dentro de un *xml* como fuente de conocimiento.
- ii). Revisión de colores permitidos y colores no permitidos: cuando el usuario va a realizar un cambio de color, se evalúa si dicho elemento tiene una intencionalidad asociada. De ser así de realiza una lectura de cuáles son los colores permitidos y cuáles no están asociados a dicha intencionalidad. Al igual que la regla de combinación de colores, este filtro se realiza de modo pesimista (ver sección tal).
- iii). Presentación paleta.

```
void Rule::removeIntentionGroupColor(QWidget *w)
{
    Dialog * auxDialog=((Button*)w)->getMenu()->getDialog();
    evaluateColorButtonIntention(w->objectName().toString());
    vector<Intention> vecAux = intentions->getIntentions();
    vector<string> colorIntention;
    for(int d=0;d<vecAux.size();d++)
    {
        for(int y=0; y<this->buttonIntention.size();y++)
        {
            if(vecAux[d].getIntentionName()==
                this->buttonIntention[y]){
                colorIntention = vecAux[d].getForbiddenColors();

                for(int j=0;j<colorIntention.size();j++)
                {
                    ((Button *)w)->
                        getMenu()->removeColorFromPalettes
                            (colorIntention[j]);
                }
            }
        }
    }
    ((Button*)w)->getMenu()->setDialog(auxDialog);
}
```

Figura 30. Regla Intencionalidad

En la Figura 31, se presenta como se ve reflejada la regla de intencionalidad en la interfaz base de Tukuchiy. En la Figura 31, para el botón “*Quit*” dado que tiene intencionalidad de “peligro” se quita de la paleta de colores opuestos a dicha intencionalidad, como el azul que está asociado a la intencionalidad de “armonía” según [62].



Figura 31. Regla intencionalidad de elementos

En esta sección se presentó el sistema de reglas diseñado para la generación dinámica de interfaces que integra tanto *HCI* como *Adaptación*. A continuación se presentará cómo se realizó la priorización de las reglas presentadas en esta sección.

#### 4.2.3. Priorización de Reglas

Para la priorización de las reglas se realizó tomando en cuenta dos aspectos: i) La priorización inicial se realizó con base en la priorización estática definida en la sección 1.3.2 ; y ii) dados algunas limitantes en conocimientos y herramientas, en el momento de desarrollar hubo necesidad de cambiar la priorización en la ejecución de algunas leyes.

Tabla 5. Priorización de Reglas (desarrollo Tukuchiy)

Categorías Usabilidad	Leyes HCI	Leyes de Colores	Adaptación	Priorización Inicial	Priorización desarrollo
<b>Atractiva</b>	Fitts	Cambio de colores según problemas de visión y la hora del día. Contrastes de colores	Conocimiento de la diversidad funcional del cada usuario. Priorización de colores e idioma por preferencias.	1	2
<b>Satisfacción</b>	Fitts	Cambio de colores según problemas de visión.		2	5
<b>Memorización</b>	Miller		Cambios en el diseño (personalización) se mantienen en el tiempo.	3	1
<b>Eficiencia</b>	Fitts	Cambio de colores según la hora del día.	Uso de perfil de usuario para recargar las preferencias anteriores.	4	3
<b>Eficacia</b>	Fitts y Practice	Cambio de colores según problemas de visión	Según el tipo de usuario cambia el nombre de botones. Organización de funcionalidades por uso.	5	4
<b>Facilidad de Aprendizaje</b>	Hick y Practice		Uso de nivel de usuario para conocer si el usuario usa por primera vez el sistema	6	6
<b>Prevención de Errores</b>	Practice	Los botones están asociados a una intención.		7	7

#### 4.2.4. Pruebas

La validación de **Tukuchiy** se realizó desde tres aspectos: teórica, funcional y con un prototipo funcional. Por el lado de la validación teórica y funcional (ver Anexo VI) se establecieron cinco hipótesis orientadas a comprobar el modelo propuesto por **Runa-Kamachiy** expresado en una hipótesis general: ¿La unión entre *HCI* y Adaptación mejora la Usabilidad de las Interfaces de Usuario (*IU*)?. La hipótesis general fue dividida en cinco sub-hipótesis para ser validada, dichas hipótesis fueron:

- La *IU* se adapta a problemas físicos de los usuarios.
- La *IU* cambia para mejorar el desempeño del usuario en la aplicación.
- La *IU* mantiene los principios de diseño dados por *HCI* en tiempo de ejecución.
- La *IU* mantiene los principios de diseño dados por *HCI* en tiempo de diseño.
- La *IU* aporta al cumplimiento de los criterios de usabilidad seleccionados.

Tanto la validación teórica como funcional de las hipótesis planteadas anteriormente se puede apreciar en profundidad en el Anexo VI. Para las hipótesis de la una a la cuatro se realizaron algoritmos para evaluar cada una de las funcionalidades de **Tukuchiy**; dichos algoritmos se probaron y fueron exitosos por medio de pruebas unitarias. Para la hipótesis cinco se realizaron pruebas teóricas, para las que se analizaron diferentes trabajos donde se comprobaba que las leyes usadas de *HCI* (ver sección 4.2.2) efectivamente suplen las necesidades planteadas por cada uno de los criterios de usabilidad.

En esta sección se presentó **Tukuchiy**, el framework desarrollado para la validación del modelo central del proyecto (**Runa-Kamachiy**) junto con la validación teórica y funcional del mismo. Con el fin de validar **Tukuchiy**, sistema generador de interfaces dinámicas descrito en esta sección, se construyó una aplicación como caso de estudio llamada **Midiku** que será descrita en la siguiente sección. Esta aplicación se convirtió en el prototipo mencionado en la sección anterior, que permitió la validación de **Tukuchiy**

## 5. CASO DE ESTUDIO (MIDIKU)

**Midiku** es un prototipo funcional desarrollado con el fin de mejorar la interacción entre los radiólogos y los sistemas asociados con la visualización de imágenes diagnósticas. **Midiku** toma como base **Tukuchiy**. Para el caso de estudio se desarrolló un escenario llamado *diagnóstico* el cual será definido a continuación.

### 5.1. Escenario

En el área de la medicina, el diagnóstico tiene como objetivo determinar el carácter de una enfermedad mediante el examen de sus signos<sup>6</sup>. Dichos signos pueden ser detectados realizando un análisis de imágenes médicas como lo son las radiografías. Con el fin de apoyar este vital proceso para los radiólogos, con este escenario se busca mejorar la interacción entre

---

<sup>6</sup> RAE-Diagnóstico. <http://lema.rae.es/drae/?val=diagnostico>

el radiólogo y el sistema que le muestra las imágenes diagnósticas de los pacientes. Dicha mejora se refiere a realizar cambios en la interfaz, como la posibilidad de ver las imágenes médicas en diferentes ángulos (*e.g.*, planos x, y o z) y con colores adecuados según el perfil del usuario y del entorno, entre otros. Para lograr esa mejora en la interacción se agregaron a **Tukuchiy** algunos datos de usuario y de contexto, además de algunas funcionalidades que serán presentadas a continuación.

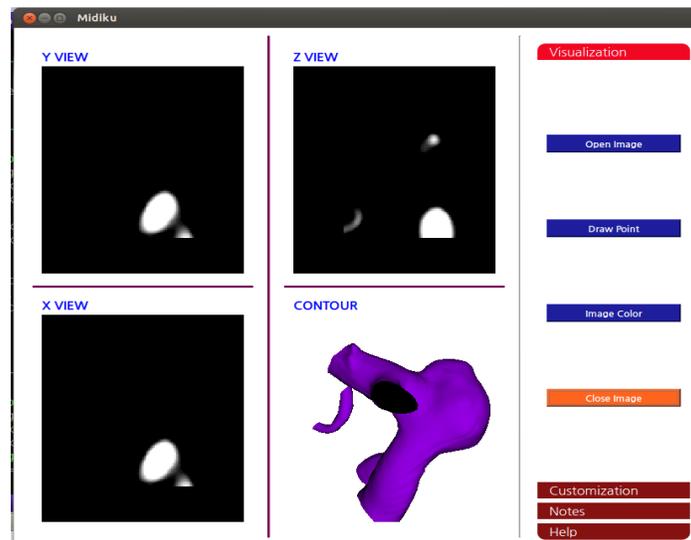


Figura 32. Interfaz Base Midiku

#### 5.1.1. Perfil de Usuario

Dentro de la arquitectura de Tukuchiy se creó un perfil de usuario base, con datos básicos y un modelo de preferencias. Sin embargo, para el caso de estudio de diagnóstico fue necesaria la adición de otros datos acerca de los usuarios finales y que fueron integrados al perfil de usuario base. Dichos datos fueron:

- **Nivel experticia del usuario:** se ve reflejado en la cantidad de diálogos (ayudas) presentados en el momento de realizar una tarea.
  - o *Experto:* lleva más de 2 años ejerciendo como radiólogo.
  - o *Novato:* lleva menos de 2 años ejerciendo como radiólogo.
- **Contexto de uso:** cuando el radiólogo se encuentre con ciertas características ambientales (*e.g.*, luminosidad), dependiendo hora del día o características del lugar de trabajo, estas pueden llegar a afectar el diagnóstico de las imágenes. Para Midiku se tuvo en cuenta la luminosidad según la hora del día; sin embargo, la funcionalidad puede ser ampliada a las características físicas de donde se use el sistema.
- **Preferencias de visualización:** la interfaz básica posee cuatro vistas de una imagen médica; sin embargo, la posición de éstas y la cantidad serán dadas por las preferencias de uso. Dichas preferencias de uso son: *i)* la cantidad de veces que el usuario usa las

vistas, lo cual hará ocultar vistas que ocupan espacio en el *layout* y no son usadas; *ii*) con cuál vista interactúa más veces, lo dará el orden de presentación en la interfaz; y por último, *iii*) que colores son los más usados para la vista de contorno, lo cual modificará la paleta de colores del sistema.

### 5.1.2. Funcionalidades

Las funcionalidades adicionales a las ya establecidas en *Tukuchiy* son:

- Visualización de imágenes médicas. Para esto se le presentarán 4 vistas: plano *xy*, plano *xz*, plano *yz* y la superficie de la imagen médica. Además, funciones de visualización (rotación, translación, *etc.*) junto con la organización de vistas por preferencias.
- Cambios en los colores de las imágenes según las características físicas del usuario (vista de contorno). Además, estilos predeterminados de la IU con las leyes de *HCI*.
- Funciones de trazado: dibujo de cruces sobre la imagen para resaltar puntos por el radiólogo. Además, funciones de notas: colocar notas (texto) adjuntas a la imagen.

### 5.2. Desarrollo Midiku

El desarrollo de *Midiku* se implementó en C++ usando QT4 [63]. Para QT4 se emplearon tres librerías: *QT Core*, *QT Gui*, *QT Xml* y *QVTK*. La librería *QT Core* que es la librería base para todos los módulos usados en QT5. La librería *QT GUI* es el módulo de interfaz gráfica de usuario que permite el uso de clases para la integración de sistemas de ventanas, manejo de eventos, imágenes básicas, fuentes y texto. La librería *QT Xml* se usó para la lectura y escritura de los archivos *xml* con los cuales se administran los diferentes perfiles usados en *Midiku*. Por último la librería *QVTK* se usó para la visualización e interacción con las imágenes médicas.

Se seleccionó QT4 dado que las interfaces de usuario se expresan por medio de un *xml* lo que hacía posible su adaptación al momento de ejecutar el sistema; adicionalmente, este tipo de representación de la interfaz permite el acceso a las propiedades de los componentes de la misma sin tener que realizar procesos adicionales para realizar cambios sobre los mismos. Toda la aplicación fue implantada en una máquinas con: *i*) sistema operativo Ubuntu 12.10 de 32 bits, Intel(R) Xeon(R) CPU de 2.66GHz, memoria RAM de 4GB.

*Midiku* se construyó tomando como base el *framework Tukuchiy* (sección IV.4), con todas sus características y manejo perfiles. Se empezó por diseñar la interfaz base de *Midiku*, modificando la interfaz base de *Tukuchiy*, dicha interfaz se puede apreciar en la Figura 32.

La interfaz se divide en dos partes: área de trabajo y barra de herramientas. En el área de trabajo se muestran las tres vistas de la imagen (Y, X y Z) y un contorno de la misma. La barra de herramientas se encuentra dividida en cuatro partes: *i*) Visualización, funcionalidades asociadas directamente con las imagen mostrada en el área de trabajo (abrir y cerrar la imagen, cambiar el color al contorno y dibujar puntos sobre las imágenes); *ii*) Personalización, donde el radiólogo puede personalizar el ambiente de trabajo (seleccionar

estilos, volver al estilo base o cambiar aspectos del área de trabajo); *iii*) Notas, el radiólogo podrá realizar anotaciones sobre las imagen visualizada; y *iv*) Ayuda, es donde podrá encontrar información de la herramienta en general.

La construcción de *Midiku* se dio en dos partes: *i*) en primera medida se realizó la visualización de las imágenes y la interacción con las mismas; *ii*) luego se desarrollaron las funcionalidades de la barra de herramientas.

A continuación se presenta cuáles son los cambios de *Midiku* tomando como base dos perfiles de usuario cuyas características se presentan en la Tabla 6.

**Tabla 6. Perfiles de *Midiku***

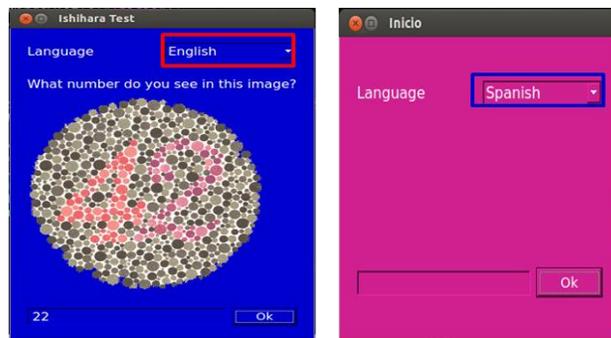
Aspecto	Perfil 1	Perfil 2
Nivel de uso	Experto	Novato
Genero	Masculino	Femenino
Problemas Visuales	Protanopía y Miopía	Ninguno
Idioma	Ingles	Español
Nivel experticia ( Radiología)	Más de 5 años	Menos de 5 años

Por cada uno de los perfiles expuestos anteriormente en la Tabla 6 se presentan en la Tabla 7 algunas pantallas de cómo, por cada uno de los perfiles, *Midiku* ajusta la interfaz gráfica básica presentada en la Figura 32.

**Tabla 7. Pantallas *Midiku* (Perfil 1 y Perfil 2)**

### Pantallas *Midiku* (Perfil 1 vs Perfil 2)

Si el usuario es mujer no se le realiza el *Test* de *Ishihara* dado que en las mujeres no son frecuentes los problemas de daltonismo. Adicionalmente, el usuario escoge el idioma de su preferencia para la interfaz del sistema (Figura 33).



**Figura 33. Inicio *Midiku***

Si el usuario ha usado la aplicación por un amplio espacio de tiempo y varias veces, por la Ley de *Practice*, los *tooltips* son menos detallados (usuario experto). Por el lado de los usuarios novatos, los *tooltips* son más detallados para mejorar el aprendizaje en el uso de la aplicación (Figura 34).

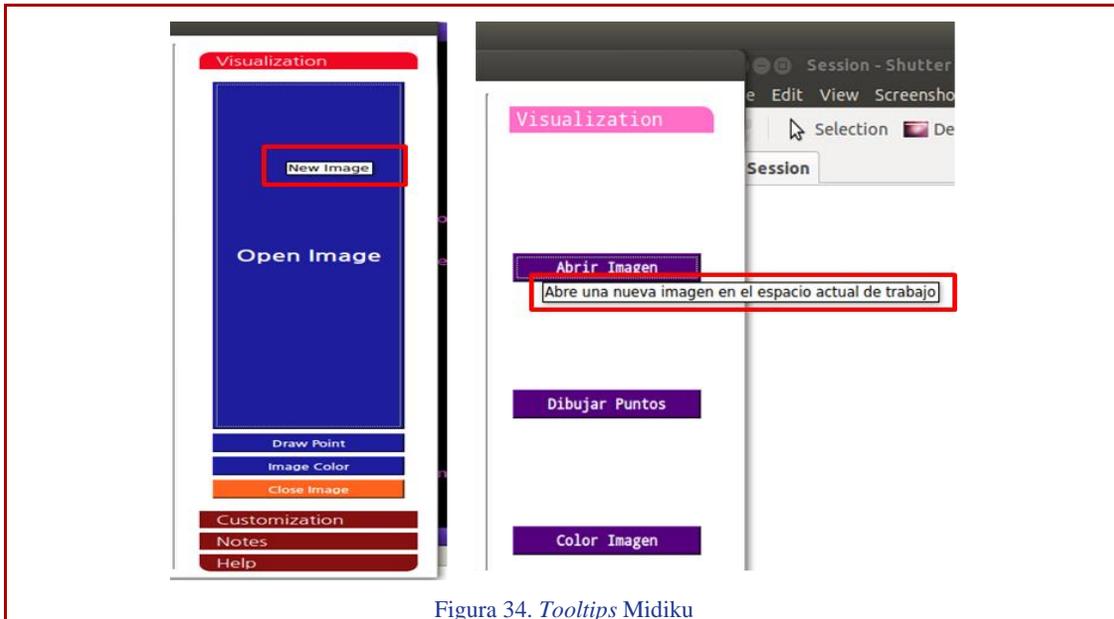


Figura 34. Tooltips Midiku

Si el usuario tiene algún tipo de daltonismo la paleta de colores cambia para que sea reconocida por el mismo. Adicionalmente, la superficie de la imagen médica también se transforma (su color) para que el radiólogo con problemas de daltonismo no tenga dificultades para el diagnóstico de la imagen (Figura 35).

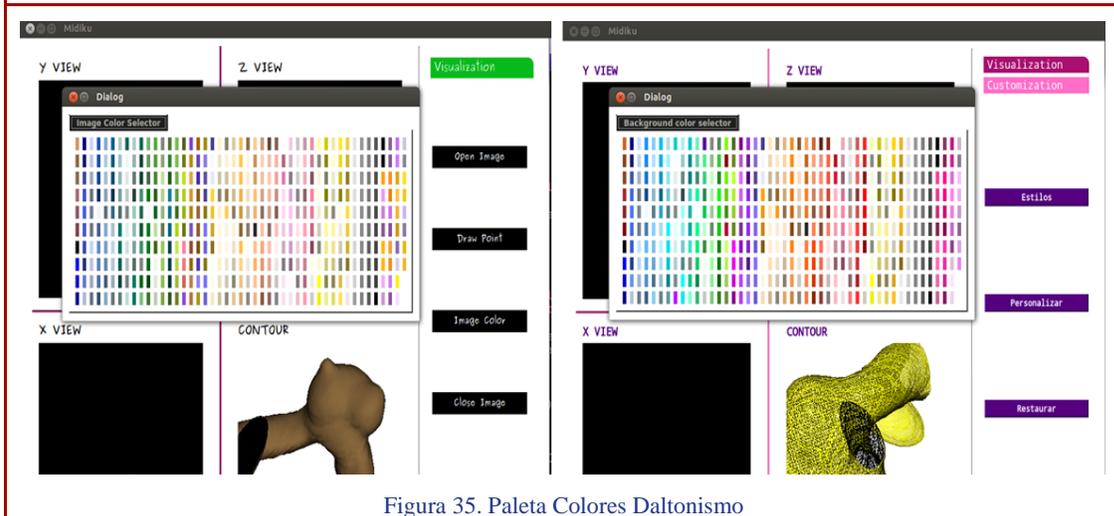


Figura 35. Paleta Colores Daltonismo

*Midiku*, a diferencia de otros sistemas de visualización de imágenes médicas, proporciona la posibilidad al usuario de escoger cómo desea que sea el estilo de la interfaz. Dichos estilos cumplen con las normas de colores establecidas por *HCI* [62]; adicionalmente, dependiendo del género del usuario, se eliminan algunos estilos que no corresponden con sus preferencias (ver Figura 36)..

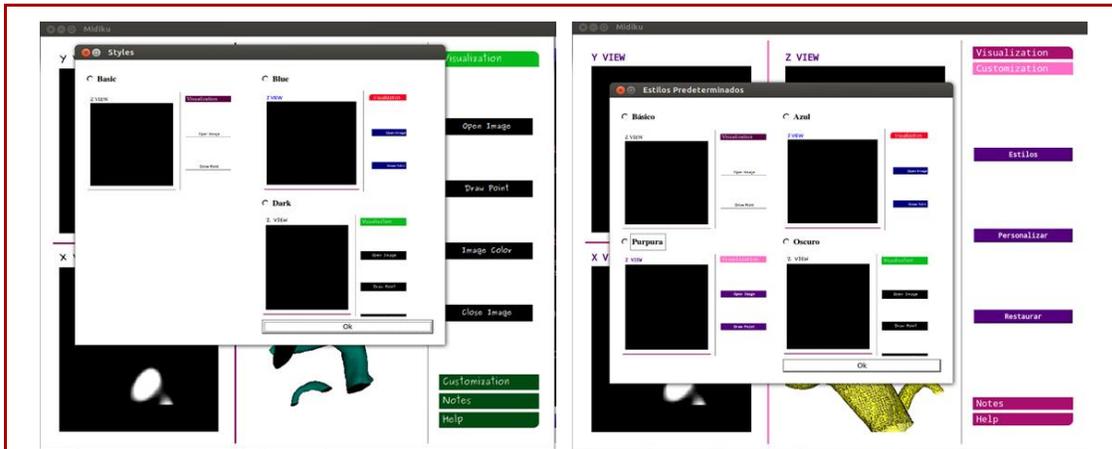


Figura 36. Estilos en Midiku

Es importante resaltar que *Midiku* mantiene el manejo de preferencias de colores de *Tukuchiy*. En la Figura 37, se puede apreciar cómo para el Perfil 1 los colores más usados son el verde, rojo y azul, y así mismo se le presentan en la paleta de colores. Por el lado del Perfil 2, los colores de preferencia son púrpura, negro y amarillo, y así mismo se le presenta la paleta.

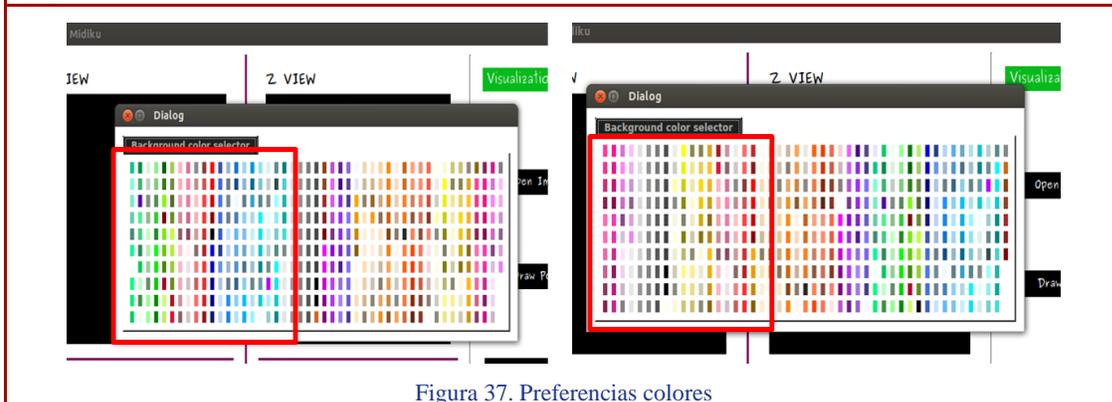


Figura 37. Preferencias colores

En esta sección se presentó cómo fue el desarrollo del prototipo *Midiku* junto con sus funcionalidades y beneficios. En la siguiente sección se presentará la validación de *Midiku*.

### 5.3. Validación Inicial de Midiku (Mockup)

Para la validación de inicial de *Midiku* se realizó una encuesta de usabilidad de interfaces de usuario, a nivel de diseño, a radiólogos. A continuación se presenta el proceso y resultados de la misma.

#### 5.3.1. Descripción del proceso

Para realizar la evaluación de la usabilidad en interfaces de *Midiku* se realizó un *Mockup* (una demostración digital de cómo se vería el diseño de un sistema) a tres radiólogos del Hospital San Ignacio (Bogotá, Colombia). Uno de los radiólogos encuestados fue un experto,

dado sus años de experiencia en el área; además, este experto no es un nativo digital; los demás radiólogos son médicos especializándose en el área de radiología y son nativos digitales. Dicho *Mockup* puede verse en el Anexo VII.

Dicha encuesta se realizó tomando algunas preguntas de *QUIS* (Questionnaire for User Interface Satisfaction) [64]; es importante resaltar que se escogieron de *QUIS* las preguntas que se enfocaban únicamente a evaluar el diseño de la interfaz. A continuación, en la Tabla 8 se presentan algunas de las preguntas realizadas por cada criterio a evaluar.

**Tabla 8. *Mockup* Midiku**

Criterio	Pregunta	Escala
Interacción y adaptabilidad	Flexibilidad de la interfaz de usuario	1. Muy rígida 2. Rígida 3. Flexible 4. Muy flexible
	Complejidad de la interfaz de usuario	1. Muy complicada 2. Complicada 3. Fácil 4. Muy fácil
Pantalla y Despliegue	Organización de la información en la pantalla es:	1. Muy confusa 2. Confusa 3. Clara 4. Muy clara
	El uso de la terminología es:	1. Muy inconsistente 2. Inconsistente 3. Consistente 4. Muy consistente
	La densidad de la pantalla es:	1. Muy inadecuada 2. Inadecuada 3. Adecuada 4. Muy adecuada
Personalización Visual	¿Los menús se diferencian de otra información que aparece?	1. Muy confusa 2. Confusa 3. Clara 4. Muy clara
	Proporciona un distintivo visual los campos de datos en:	1. Muy alto grado 2. Alto grado 3. Bajo grado 4. Muy bajo grado
	Están demarcados los grupos de información:	1. Muy confusa 2. Confusa 3. Clara 4. Muy clara

En la Figura 38, se puede apreciar una parte de la encuesta realizada. Es importante resaltar que en el *Mockup*, al menos el 50% de las preguntas tenían una imagen asociada como la que se representa en la Figura 38.



**Figura 38. Fragmento del *Mockup***

### 5.3.2. Resultado del *Mockup*

Para el análisis de los resultados se dividieron los encuestados en dos tipos de usuario: experto y novatos. Además, se tomaron tres preguntas del aspecto 1, seis del aspecto 2 y cuatro del aspecto 3.

El primer aspecto (Adaptabilidad e interacción) correspondía a la apreciación inicial del usuario concerniente a la interfaz. El segundo aspecto (Despliegue y Pantalla) concernía a la organización y significado de los elementos gráficos en la pantalla. El tercer aspecto (Presentación y Visualización) resalta el uso de los colores y la delimitación por zonas de la pantalla. Cabe destacar que todas las preguntas en cada uno de los aspectos tienen el mismo peso.



**Figura 39. Resultados Mockup-QUIS**

Con respecto a la evaluación realizada por el radiólogo experto se pudo apreciar que valoró el primer aspecto con un 66,7% de favorabilidad en el que se destacó la flexibilidad percibida de la interfaz. No obstante, aspectos como lo atractivo de la misma no fueron bien evaluados. Por el lado del despliegue y la pantalla, segundo aspecto, el experto dio una valoración de un 54,2% en que resalto que la densidad de la pantalla se encontraba en un nivel adecuado. Sin embargo, aspectos como el significado de los botones le parecieron difíciles de interpretar. En el tercer aspecto, el experto dio una valoración de 81,3%, resaltando aspectos como el apoyo de la interfaz en el uso adecuado de los colores.

Para los usuarios novatos las respuestas fueron promediadas y los resultados fueron: el primer aspecto se valoró con un 66,7% de favorabilidad en el que destacaron la facilidad de interpretación inicial de la interfaz. El segundo aspecto se evaluó con un 68,8% de favorabilidad dando valor a la organización y uso de terminología adecuada de la interfaz. Sin embargo, la densidad de la pantalla les pareció inadecuada. Por último, la evaluación del tercer aspecto tuvo un 68,8% de favorabilidad, resaltando la distinción visual de las diferentes zonas de la pantalla. No obstante, el uso de los colores no les pareció adecuado.

Adicional a la evaluación de los tres aspectos, los encuestados realizaron algunos comentarios en los que se destaca la necesidad actual que las interfaces para la visualización de imágenes en radiología sean más intuitivas y menos complejas para aumentar su uso por parte de los radiólogos. Adicionalmente, resaltaron que podría aprovechar mejor el espacio

“muerto del monitor” y que la encuesta fue muy estática que se debía enriquecer con videos para comprender mejor su funcionalidad.

#### 5.4. Validación final *Midiku*

Con base en la validación inicial (sección 5.3) se le hicieron cambios a la interfaz de *Midiku* y junto con las funcionalidades implementadas, se le realizó una segunda validación de usabilidad. Para esta validación se contó una experta en visualización quien realizó verifíco la funcionalidad de *Midiku* y evaluó la usuabilidad del mismo con dos cuestionarios estándar: *QUIS* (ver sección 5.3.1) y *SUS*.

Con respecto al cuestionario *SUS* (Measuring Usability With The System Usability Scale) [65] [7], la clasificación de las aplicaciones según su usabilidad se realiza asignando una calificación en un rango de letras (A, B, C, D y F) a cada una, donde A es el mejor valor que se puede obtener y F es el peor [65]. Las preguntas del test *SUS* fueron organizadas según los criterios de usabilidad a ser evaluados en *Midiku* (Tabla 9). Un mayor detalle de este cuestionario se puede ver en el Anexo VI.

**Tabla 9. Cuestionario SUS**

No.	Afirmación	Criterio Usabilidad
1	Pienso que me gustaría usar este sistema frecuentemente.	Satisfacción, Atractivo
2	Pienso que el sistema es innecesariamente complejo.	Eficiencia, Memorización
3	Pienso que el sistema fue fácil de usar.	Satisfacción, Aprendizaje
4	Pienso que yo necesitaría la ayuda de una persona con conocimiento técnico para poder usar este sistema.	Aprendizaje, Memorización
5	Pienso que las funcionalidades de este sistema se encontraban bien integradas.	Eficacia, Eficiencia
6	Pienso que había demasiadas inconsistencias en el sistema.	Eficacia, Prevención de errores
7	Pienso que la mayoría de personas aprenderían a usar este sistema muy rápidamente.	Satisfacción, Aprendizaje
8	Pienso que el sistema es muy incómodo de usar.	Eficiencia, Atractivo
9	Me sentí seguro (cómodo) usando el sistema.	Prevención de errores, Satisfacción
10	Necesito aprender demasiadas cosas antes de poder usar el sistema.	Aprendizaje, Memorización

Con respecto a los resultados obtenidos, la valoración total que recibió *Midiku* por parte de la experta en visualización fue de 90, lo que lo califica en la escala A, es decir, que la aplicación obtuvo la mejor calificación de usabilidad disponible en *SUS*. La Figura 40 muestra gráficamente los resultados obtenidos por *Midiku* en cada criterio de usabilidad. A partir de los resultados se puede concluir que la aplicación satisface la mayoría de criterios de usabilidad que se están revisando según la experta en visualización. Sin embargo, no se obtuvo un puntaje perfecto en los criterios relacionados con la satisfacción ni la eficacia; la experta resaltó la importancia de facilitar la selección de una sola vista de la imagen (como punto central), además del desplazamiento simultáneo en todas las vistas.

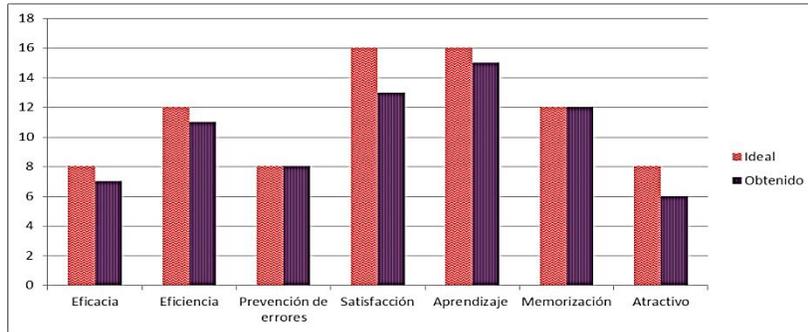


Figura 40. Resultados SUS. - Experta Visualización

Por el lado de la encuesta QUIS, realizada por la misma experta se pudo apreciar que valoró el primer aspecto con un 75,0% de favorabilidad en el que se destacó lo estimulante de la interfaz. Por el lado del despliegue y la pantalla, la experta dio una valoración de un 79,2% en que resalto que el significado característico de los botones. En el tercer aspecto, la experta dio una valoración de 81,3%, sobresaliendo aspectos como la facilidad de percepción de los colores. Adicionalmente, la experta resaltó la necesidad de dar la libertad al médico de cambiar de lugar las vistas, la posibilidad de escoger una sola vista y ampliarla junto con el desplazamiento simultaneo en todas las vistas.



Figura 41. Resultado QUIS - Experta Visualización

### 5.5. Aplicación de Tukuchiy en un entorno Educativo

El framework *Tukuchiy* fue validado a través de otra aplicación realizada en el área de educación llamada *Idukay*. *Idukay* (palabras en Quechua que significan “Educar”) es un prototipo funcional que usa a *Tukuchiy* como base para implementar sobre él una aplicación educativa. Fue desarrollado con el fin de aprovechar las ventajas de la generación de interfaces dinámicas adaptadas para que los estudiantes pudieran obtener OVA de acuerdo con su estilo de aprendizaje y preferencias de despliegue, realizando variaciones a la presentación y navegación (ver Figura 42) [4].



Figura 42. Interfaz Tukuchiy-Idukay

**Idukay** toma en cuenta su estilo de aprendizaje [66] y sus preferencias de despliegue de OVA del perfil de usuario básico de **Tukuchiy**, al cual agrega dichas características ([4]. Las pruebas de validación realizadas a **Idukay** permitieron evaluar que el funcionamiento de la aplicación correspondía a lo esperado, es decir, que presentaba la interfaz adaptada según el perfil del estudiante y siguiendo las reglas de *HCI* de **Tukuchiy**; además, permitieron determinar si el sistema es usable. Para realizar la validación se contó con la ayuda de una persona experta en el área de Educación y dos personas del área de Ingeniería de Sistemas, una de las cuales tenía conocimientos en el área de *HCI* y otra en el área Usabilidad en aplicaciones de Educación [4]. Adicionalmente, se desarrolló un cuestionario de Usabilidad con el cuál se validó **Idukay** y cuyos resultados se pueden ver en [7]. Es importante resaltar que el desarrollo de **Idukay** se realizó dentro de un proyecto de investigación del Dpto. de Ingeniería de Sistemas de la Pontificia Universidad Javeriana y fue construido por la estudiante de maestría Nadia Mejía Molina.

## V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

**Runa-Kamachiy** se creó como un modelo de integración conceptual que conjuga tanto conceptos de *HCI* como de *Adaptación* con el fin de mejorar la usabilidad de las interfaces de usuario.

Con el objetivo de construir **Runa-Kamachiy** se realizó en primera instancia una indagación de las investigaciones que se orientan a la generación dinámica de interfaces de usuario manteniendo estándares dador por *HCI* y la *Adaptación* según características de usuario y de contexto. Así mismo, se realizó una investigación del manejo de las interfaces de usuario en el área de radiología clínica para el caso de estudio.

Para la realización de modelo de **Runa-Kamachiy**, se crearon en primera medida dos taxonomías, una con los conceptos de *HCI* orientados al diseño de interfaces de usuario; la segunda taxonomía se realizó con los conceptos de *Adaptación*. Adicionalmente, se realizó

un análisis del concepto de usabilidad de cual se establecieron los criterios de usabilidad a ser manejados en el proyecto. Establecidos dichos criterios se creó un proceso de priorización de los mismos con dos subprocesos: *i)* Estático para establecer prioridades en tiempo de diseño; y *ii)* Dinámico con el cual se establece la priorización de los criterios de usabilidad en tiempo de ejecución. Con estas taxonomías se cumplió el primer objetivo del proyecto.

En segunda medida se crearon, con base en las taxonomías, dos matrices de integración conceptual que representan el modelo base de ***Runa-Kamachiy***. Dichas matrices fueron: una con base en lo encontrado en la bibliografía y otra con propuestas de puntos en los cuales se puede integrar *HCI* y *Adaptación*. Con las matrices se alcanzó el segundo objetivo del proyecto.

Con el ánimo de formalizar el modelo de integración se diseñaron modelos de adaptación con los cuales se pretendió unir y organizar los conceptos del modelo de integración, en tres aspectos que influyen en la generación de interfaces de usuario, dicho modelos fueron: Perfil de Usuario, Perfil de Contexto y Perfil de Interfaz. Se resalta el modelo de adaptación realizado para la interfaz de usuario el cual no se vio en la investigación realizada previamente y el cual es la base para lograr la construcción dinámica de interfaces ajustadas.

Adicionalmente, se construyó un *framework* llamado ***Tukuchiy*** cuyo fin es la generación dinámica de interfaces de usuario adaptadas a las características de usuario y de su contexto, junto con el mantenimiento, en tiempo de ejecución, las normas de diseño dadas por *HCI*. Para la construcción de ***Tukuchiy***, se elaboró un sistema de reglas que permite la generación de las interfaces teniendo en cuenta los perfiles de adaptación diseñados previamente. Con el *framework* ***Tukuchiy***, el cual ya se encuentra registrado, se cumplió el tercer objetivo del proyecto.

Finalmente, se realizó un prototipo funcional en el área de radiología clínica denominado ***Midiku***. Este prototipo se construyó con el fin de apoyar el diagnóstico de imágenes médicas con el fin mejorar la interacción del radiólogo con las mismas. Con ***Midiku***, se logró el cuarto objetivo del proyecto.

Una de las ventajas de ***Tukuchiy*** es que su diseño permite la escalabilidad con respecto a personalizar otros aspectos de la interfaz gráfica que no fueron contemplados en su primera versión. Además, el diseño ***Tukuchiy*** presentado en este trabajo de grado, puede ser usado por una capa de servicios independiente; es decir, cada aplicación que tenga una interfaz gráfica (específicamente desarrollada en C++) podría usar este *framework* como base para generar las interfaces de usuario ajustadas. Lo anterior, con el fin de resaltar el aspecto genérico que tienen los modelos para que puedan ser usados en diversos contextos (***Midiku*** e ***Idukay***). Con respecto a las pruebas realizadas al *framework* ***Tukuchiy***, se realizaron a nivel funcional y teórico, bajo el rigor del uso de la evaluación de diferentes hipótesis planteadas. Por otro lado, para ***Midiku*** se realizaron dos validaciones: la primera validación fue un *Mockup* usando una encuesta de usabilidad estándar en *HCI* (*QUIS*), a nivel de diseño, el cual

se realizó con radiólogos (un experto y dos novatos); la segunda validación se realizó con una experta en visualización a quien se le realizó el mismo *Mockup* junto con otra encuesta estándar de usabilidad (*SUS*).

Desde el punto de vista informático se logró la combinación de dos líneas de investigación (*HCI* y *Adaptación*) centrando sus conceptos en la resolución del problema de mantener la usabilidad de las interfaces de usuario, tanto en su diseño como en tiempo de ejecución; lo anterior por medio de una taxonomía y un modelo de integración conceptual. Adicionalmente, se logró construir un generador dinámico de interfaces de usuario (*Tukuchiy*) en el cual se acopló dicho modelo de integración. Por otro lado, se construyeron dos prototipos funcionales en contextos diferentes *Midiku* (área de Radiología Clínica) y en un proyecto adjunto *Idukay* (área de Educación).

Con respecto al trabajo interdisciplinar fue muy formativo, dado que se profundizó en conceptos de ambas áreas los cuales se pensaba eran ajenos. Sin embargo, ambos están orientados hacia suplir las necesidades individuales de los usuarios, teniendo en cuenta sus características. En lo anterior se ve reflejado el impacto social de *Runa-Kamachiy*, dado que se tuvo en cuenta problemas visuales de los usuarios junto con la caracterización de su contexto para facilitar sus labores en ciertos momentos del día (mucho o poca iluminación, por ejemplo).

Por el lado del impacto en ingeniería del proyecto, se resalta el uso de técnicas estándar de *HCI* para la realización del framework y el seguimiento de metodologías para el diseño base del mismo. En *Adaptación*, se utilizaron test especializados para mantener los perfiles de usuario actualizados junto con la inferencia de preferencias. Adicionalmente, se usaron dos test estándar de usabilidad para la realización de la validación del prototipo (*SUS* y *QUIS*).

Como trabajo futuro, desde el punto de vista técnico se plantea la ampliación del framework *Tukuchiy* extendiendo el sistema de reglas para que pueda ser usado por otros elementos de la interfaz que no se tuvieron en cuenta en esta primera versión (e.g., cuadros de texto); adicionalmente, honrar en otros criterios de usabilidad, por el lado de la lógica, como la portabilidad o el rendimiento. Por el lado del modelo se plantea la necesidad de integrar otros aspectos del contexto como el dispositivo de acceso, en conjunto con los aspectos emocionales que por su complejidad en la obtención de información no se tuvieron en cuenta en esta versión.

Adicionalmente, es necesaria la validación de *Tukuchiy* en otros contextos con el fin de verificar la generalidad del mismo; se propone una aplicación en el entorno web para corroborar dicha generalidad. Con respecto al prototipo *Midiku*, se plantea la necesidad de mejorarlo con el fin de satisfacer otras necesidades de los radiólogos como lo son la integración con otras herramientas para el almacenamiento y tratamiento de imágenes médicas (*PACS*) y más funcionalidades para la interacción con las imágenes mostradas; lo anterior unido a una validación completa de usabilidad con los usuarios finales (radiólogos).

## VI. REFERENCIAS

---

- [1] V. Costello, S. Youngblood, and N. Youngblood, *Multimedia Foundations: Core Concepts for Digital Design*, 1st ed. Waltham, Mass. 360 P.: Focal Press, 2012.
- [2] N. Negroponte, *Being digital*. New York: Vintage Books, 1996.
- [3] S. K. Card, A. Newell, and T. P. Moran, *The Psychology of Human-Computer Interaction*. Hillsdale, NJ, USA: L. Erlbaum Associates Inc., 1983.
- [4] L. F. Barrera, N. A. Mejia-Molina, A. C. Carrillo-Ramos, and L. Flórez-Valencia, “Tukuchiy-Idukay: Generación Dinámica de Interfaces en Contextos Educativos,” presented at the Congreso Internacional de Ambientes Virtuales de Aprendizaje Adaptativos y Accesibles, San Juan, Argentina, 2013, p. 10.
- [5] L. F. Barrera, A. Carrillo-Ramos, L. Flórez-Valencia, and J. A. Pavlich-Mariscal, “Runa-Kamachiy: Conceptual Integration Model Between HCI and Adaptation Oriented to User Interface Usability,” *DYNA -Revista de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellin.*, vol. En Revisión, p. 10, 2013.
- [6] L. Barrera, A. Carrillo-Ramos, L. Flórez-Valencia, J. Pavlich-Mariscal, and N. Mejia-Molina, “Integrating Adaptation and HCI concepts to support Usability in User Interfaces: a Rule-Based Approach,” presented at the 10th International Conference on Web Information Systems and Technologies (WEBIST), Barcelona, España, 2014, p. 10.
- [7] L. F. Barrera, N. A. Mejia-Molina, A. Carrillo-Ramos, L. Flórez-Valencia, and J. Pavlich-Mariscal, “TUKUCHIY: Generador Dinámico de Interfaces de usuario que integra conceptos de HCI y Adaptación como apoyo a la Usabilidad,” *UMUAI - USER MODELING AND USER-ADAPTED INTERACTION The Journal of Personalization Research*, vol. En Revisión, p. 40, 2013.
- [8] M. Z. . Obeidat and S. S. Salim, “Integrating user interface design guidelines with adaptation techniques to solve usability problems,” in *2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)*, 2010, vol. 1, pp. V1–280–V1–284.
- [9] R. Laddaga, P. Robertson, and H. Shrobe, *Self-adaptive Software: Applications*. Springer, 2003.
- [10] V. Alvarez-Cortes, B. E. Zayas-Perez, V. H. Zarate-Silva, and J. A. . Uresti, “Current Trends in Adaptive User Interfaces: Challenges and Applications,” in *Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference, 2007. CERMA 2007*, 2007, pp. 312–317.
- [11] K. Thomas, “A user-centered approach to adaptive interfaces,” in *Proceedings of the 1st international conference on Intelligent user interfaces*, New York, NY, USA, 1993, pp. 243–245.

- [12] M. Soegaard, "Interaction Design Foundation," *Interaction Design Foundation – Free educational materials*, 2013. [Online]. Available: <https://www.interaction-design.org>. [Accessed: 05-Aug-2013].
- [13] T. Hewett, R. Baecker, S. Card, T. Carey, J. Gasen, M. Mantei, G. Perlman, G. Strong, and W. Verplank, "CHAPTER 2: Human-Computer Interaction {p. 5}," *Curricula for Human-Computer Interaction*, 2009. [Online]. Available: <http://old.sigchi.org/cdg/cdg2.html>. [Accessed: 14-May-2012].
- [14] S. C. Seow, "Information theoretic models of HCI: a comparison of the Hick-Hyman law and Fitts' law," *Hum. Comput. Interact.*, vol. 20, no. 3, pp. 315–352, Sep. 2005.
- [15] J. Accot and S. Zhai, "Scale effects in steering law tasks," in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2001, pp. 1–8.
- [16] G. A. Miller, "The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information.," *Psychol. Rev.*, vol. 101, no. 2, pp. 343–52, 1994.
- [17] J. J. M. Roessingh and B. G. Hilburn, *The Power Law of Practice in Adaptive Training Applications*. Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium, 2000.
- [18] Y. Hassan and F. Martin, "La Experiencia del Usuario," *No Solo Usabilidad*, no. 4, Sep. 2005.
- [19] A. Dillon and M. Morris, "Modeling and measuring the human determinants of information systems usage.," in *Proceedings of the 43rd Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society*, Texas, Santa Monica, 1999.
- [20] J. Redish, "Are we really entering a post-usability era?," *SIGDOC Asterisk J Comput Doc*, vol. 19, no. 1, pp. 18–24, Mar. 1995.
- [21] Fujifilm Medical Systems U.S.A., "FDX Console," *Fujifilm Digital Radiography Solutions*, 2013. [Online]. Available: <http://digital-radiology.fujimed.com/workstations/fdx-console/>. [Accessed: 25-Nov-2013].
- [22] Philips N.V., "Extended Brilliance Workspace," *Philips - Clinical IT@work.*, 2013. [Online]. Available: [http://www.healthcare.philips.com/us\\_en/products/nuclearmedicine/products/workflow/ebw/](http://www.healthcare.philips.com/us_en/products/nuclearmedicine/products/workflow/ebw/).
- [23] General Electric Company, "Centricity PACS-IW," *GE Healthcare Worldwide*, 2013. [Online]. Available: <http://goo.gl/X75c5j>.
- [24] J. W. Cooper, S. Ebadollahi, and E. Eide, "A Thin Client Interface to a High Performance Multi-modal Image Analytics System," in *42nd Hawaii International Conference on System Sciences, 2009. HICSS '09*, 2009, pp. 1–8.
- [25] D. Craig, "An EHR interface for viewing and accessing patient health events from collaborative sources," in *2011 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS)*, 2011, pp. 319–324.
- [26] F. Paterno, "Task Models in Interactive Software Systems," in *IN HANDBOOK OF SOFTWARE ENGINEERING AND KNOWLEDGE*.

- [27] “What Is Human Factors/Ergonomics?,” *Human Factors and Ergonomics Society*, May-2013. [Online]. Available: <http://www.hfes.org/web/AboutHFES/about.html>.
- [28] K. KOFFKA, *Principles of gestalt psychology*, 1st ed. London, UK, UK: Routledge, 1999.
- [29] Yingxu Wang, “A cognitive informatics theory for visual information processing,” 2008, pp. 317–323.
- [30] C. Kreitzberg, *The LUCID Framework (Logical User Centered Interaction Design) -An Introduction*, vol. Pre-Release Version 0.4. Cognetics Corporation, 2008.
- [31] J. Preece, H. Sharp, and Y. Rogers, *Interaction design*. Apogeo Editore, 2004.
- [32] M. Carvajal and J. Saab, “Fundamentos conceptuales de las Directrices de Usabilidad de Gobierno en línea.,” Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Bogotá, Colombia, de Agosto de 2010.
- [33] J. Nielsen, “Usability 101: Introduction to Usability,” *Jakob Nielsen’s Website*, 2012-1995. [Online]. Available: <http://www.useit.com/alertbox/20030825.html>. [Accessed: 14-May-2012].
- [34] “Atractivo | RAE.” [Online]. Available: <http://lema.rae.es/drae/?val=atractivo>. [Accessed: 08-May-2013].
- [35] D. Stone, C. Jarrett, M. Woodroffe, and S. Minocha, *User Interface Design and Evaluation*, 1st Edition. San Francisco, USA: Morgan Kaufmann Series in Interactive Technologies, 2005.
- [36] J. Bishop, “Efficiency vs Effectiveness,” *The Higher Ed CIO*. [Online]. Available: <http://blog.thehigheredcio.com/2011/08/31/efficiency-vs-effectiveness/>. [Accessed: 10-Dec-2012].
- [37] J. Lóres, M. Sendín, and C. Aguiló, “Más allá de la manipulación directa. Hacia nuevos paradigmas de interacción,” presented at the I Jornades d’Interacción Persona-Ordinador., Granada, España, 2000.
- [38] J. Eisenstein and A. Puerta, “Adaptation in automated user-interface design,” presented at the Proceedings of the 5th international conference on Intelligent user interfaces, New Orleans, Louisiana, United States. pp. 74-81., 2000, pp. 74–81.
- [39] D. England, M. Randles, and A. Taleb-Bendiab, “Runtime user interface design and adaptation,” in *Proceedings of the 23rd British HCI Group Annual Conference on People and Computers: Celebrating People and Technology*, Swinton, UK, UK, 2009, pp. 463–470.
- [40] K. Breiner, D. Görlich, O. Maschino, G. Meixner, and D. Zühlke, “Run-Time Adaptation of a Universal User Interface for Ambient Intelligent Production Environments,” in *Proceedings of the 13th International Conference on Human-Computer Interaction. Part IV: Interacting in Various Application Domains*, Berlin, Heidelberg, 2009, pp. 663–672.
- [41] D. Akoumianakis and C. Stephanidis, “Supporting user-adapted interface design - The USE-IT system,” *Interact. Comput.*, vol. 9, no. 1, pp. 73–104, Agosto 1997.

- [42] F. Villar, “Cap. 6: Psicología Cognitiva y Procesamiento de la Información,” in *Psicología Evolutiva y Psicología de la Educación*, 1st ed., Barcelona, España: Departament de Psicologia de Psicologia Evolutiva i de l’Educació, 2001.
- [43] M. S. Sanders and E. J. McCormick, *Human Factors in Engineering and Design*, 7th ed. Mc Graw Hill, 1992.
- [44] G. G. Yen and D. Acay, “Adaptive user interfaces in complex supervisory tasks,” *ISA Trans.*, vol. Vol. 48. Stillwater USA, no. 2, p. pp 196–205, Abril 2009.
- [45] N. Ozkan and C. Paris, “Cross-Fertilization Between Human Computer Interaction and Natural Language Processing: Why and How,” *Int. J. Speech Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 135–146, May 2002.
- [46] L. Beckwith and M. Burnett, “Gender: An Important Factor in End-User Programming Environments?,” in *2004 IEEE Symposium on Visual Languages and Human Centric Computing*, 2004, pp. 107–114.
- [47] A. Dillon, “User interface design,” London: Macmillan, 2003.
- [48] D. J. Lancheros Cuesta, A. Carrillo-Ramos, and J. A. Pavlich-Mariscal, “Características de Adaptación y Discapacidad a tener en cuenta en Entornos Virtuales de Aprendizaje,” *DYNA*.
- [49] A. Savidis and C. Stephanidis, “The HOMER UIMS for dual user interface development: Fusing visual and non-visual interactions,” *Interact. Comput.*, vol. 11, no. 2, pp. 173–209, Diciembre 1998.
- [50] C. Stephanidis, A. Paramythis, M. Sfyraakis, A. Stergiou, N. Maou, A. Leventis, G. Paparoulis, and C. Karagiannidis, “Adaptable and Adaptive User Interfaces for Disabled Users in the AVANTI Project,” in *Proceedings of the 5th International Conference on Intelligence and Services in Networks: Technology for Ubiquitous Telecom Services*, London, UK, UK, 1998, pp. 153–166.
- [51] Y. Wang, “A cognitive informatics theory for visual information processing-,” in *7th IEEE International Conference on Cognitive Informatics, 2008. ICCI 2008*, 2008, pp. 317–323.
- [52] G. Leone, “Leyes de la Gestalt,” *Guillermo Daniel Leone*, 2009. [Online]. Available: <http://www.guillermoleone.com.ar/LEYES%20DE%20LA%20GESTALT.pdf>. [Accessed: 09-Jul-2012].
- [53] A. Crystal and B. Ellington, “Task analysis and human-computer interaction: approaches, techniques, and levels of analysis,” presented at the Proceedings of the Tenth Americas Conference on Information Systems, 2004.
- [54] A. Karpich Zardalevich, “Aplicacion Gestalt Diseño de Interfaces Centradas Usuario,” *Scribd*. [Online]. Available: <http://es.scribd.com/doc/111172178/Aplicacion-Gestalt-Diseno-de-Interfaces-Centradas-Usuario>. [Accessed: 26-Nov-2013].
- [55] A. Sasse, C. J. (editors, D. Thevenin, and J. Coutaz, “Plasticity of User Interfaces: Framework and Research Agenda,” 1999.

- [56] P. Wright, D. Mosser-Wooley, and B. Wooley, "Techniques and Tools for using color in computer interface design," *Crossroads ACM Stud. Mag.*, vol. 3, no. 3, pp. 3–6, Apr. 1997.
- [57] J. W. Backus, "The Syntax and Semantics of the Proposed International Algebraic Language of the Zurich ACM-GRAMM CONFERENCE," presented at the International Conference on Information Processing, Paris, Francia, 1958, pp. 125–132.
- [58] F. Buschmann, *Pattern-Oriented Software Architecture, A System of Patterns*, 1 edition., 1 vols. John Wiley & Sons, 1996.
- [59] D. Flück, "Ishihara Color Test," *Color Blindness - Information, Identificación y solutions*, 2009. [Online]. Available: <http://www.colour-blindness.com/en/colour-blindness-tests/ishihara-colour-test-plates/>.
- [60] D. Duck, "DALTONISM: Making Games Color Blind Friendly," *SebbyLive - My Life, My Projects...*, 30-Sep-2012. [Online]. Available: <http://www.sebbylive.com/2011/08/03/daltonism-making-games-color-blind-friendly>.
- [61] Y. Guiard and M. Beaudouin-Lafon, "Fitts law 50 years later: applications and contributions from human–computer interaction," *Int. J. Hum.-Comput. Stud.*, vol. 61, no. 6, pp. 747–750, Dec. 2004.
- [62] D. Bedolla, "Diseño sensorial. Las nuevas pautas para la innovación, especialización y personalización del producto," Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Projectes d'Enginyeria, Barcelona, España, 2002.
- [63] Digia, "Qt Project," *QT5 cross-platform*, 2013. [Online]. Available: [http://qt-project.org/wiki/Qt\\_5.0](http://qt-project.org/wiki/Qt_5.0).
- [64] H. X. Lin, Y. Choong, and G. Salvendy, *A proposed index of usability: a method for comparing the relative usability of different software systems*. .
- [65] J. Sauro, "Measuring Usability With The System Usability Scale (SUS)," *Measuring Usability*, 02-Feb-2012. .
- [66] R. M. Felder and L. K. Silverman, "Learning and teaching styles in engineering education," *Eng Educ*, vol. 78, no. 7, pp. 674–681, 1988.

## VII. ANEXOS

---

### Anexo I. Propuesta Trabajo de Grado

[http://pegasus.javeriana.edu.co/~PI121-05-HCI-AdaptUser/Documentos/PropuestaTG\\_RK.pdf](http://pegasus.javeriana.edu.co/~PI121-05-HCI-AdaptUser/Documentos/PropuestaTG_RK.pdf)

### Anexo II. Estado del Arte

[http://pegasus.javeriana.edu.co/~PI121-05-HCI-AdaptUser/Documentos/EstadoArte\\_RK.pdf](http://pegasus.javeriana.edu.co/~PI121-05-HCI-AdaptUser/Documentos/EstadoArte_RK.pdf)

### Anexo III. Taxonomía

[http://pegasus.javeriana.edu.co/~PI121-05-HCI-AdaptUser/Documentos/Taxonomia\\_RK.pdf](http://pegasus.javeriana.edu.co/~PI121-05-HCI-AdaptUser/Documentos/Taxonomia_RK.pdf)

### Anexo IV. Modelo de Adaptación

[http://pegasus.javeriana.edu.co/~PI121-05-HCI-AdaptUser/Documentos/ModeloAdaptacion\\_RK.pdf](http://pegasus.javeriana.edu.co/~PI121-05-HCI-AdaptUser/Documentos/ModeloAdaptacion_RK.pdf)

### Anexo V. Formalización Modelo de Adaptación

[http://pegasus.javeriana.edu.co/~PI121-05-HCI-AdaptUser/Documentos/ModeloAdaptacion\\_RK.xlsx](http://pegasus.javeriana.edu.co/~PI121-05-HCI-AdaptUser/Documentos/ModeloAdaptacion_RK.xlsx)

### Anexo VI. Pruebas Tukuchiy y Midiku

[http://pegasus.javeriana.edu.co/~PI121-05-HCI-AdaptUser/Documentos/ModeloAdaptacion\\_RK.pdf](http://pegasus.javeriana.edu.co/~PI121-05-HCI-AdaptUser/Documentos/ModeloAdaptacion_RK.pdf)

### Anexo VII. *Mockup* Midiku

[https://docs.google.com/forms/d/1O6Gi5pHYsXQWO5eMjYay2g0EowseR3\\_u4rFth1jWCBU/viewform](https://docs.google.com/forms/d/1O6Gi5pHYsXQWO5eMjYay2g0EowseR3_u4rFth1jWCBU/viewform)