

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA DIGITAL PARA ASISTIR
LA ETAPA DE PRE-PLANEACIÓN DE CIRUGÍAS ORTOPÉDICAS ORIENTADO
A INTERVENCIONES DE RODILLA**

JORGE LEONARDO SOTO GARNICA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA**

2017

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA DIGITAL PARA ASISTIR
LA ETAPA DE PRE-PLANEACIÓN DE CIRUGÍAS ORTOPÉDICAS ORIENTADO
A INTERVENCIONES DE RODILLA**

JORGE LEONARDO SOTO GARNICA

**Trabajo de grado presentado como requisito
para optar al título de diseñador industrial**

DIRECTOR

LUIS EDUARDO BAUTISTA ROJAS

Magister en Ingeniería de Sistemas e Informática

CODIRECTOR

CLARA ISABEL LÓPEZ GUALDRÓN

Magister en ingeniería en materiales

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD FISICOMECÁNICAS

ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL

BUCARAMANGA

2017

AGRADECIMIENTOS

A mi familia que me brindaron apoyo y confianza durante mis años de carrera.

A mi compañera de trabajo Angélica Luna Ayala por su apoyo como desarrolladora.

A mi director Luis Eduardo Bautista Rojas por su guía y paciencia durante el desarrollo del proyecto

A mi codirectora Clara Isabel López Gualdrón por su apoyo tanto teórico como práctico en los temas relacionados con el proyecto.

A todos los Médicos especialistas en ortopedia y diseñadores de implantes por su colaboración.

A amigos y compañeros que contribuyeron al desarrollo de mi carrera y proyecto.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	19
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.2. JUSTIFICACIÓN	21
1.3. ALCANCES	22
2. OBJETIVOS	23
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	23
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
3. MARCO TEÓRICO.....	24
3.1. PLANEACIÓN PREOPERATORIA.....	24
3.1.1. Método manual.....	24
3.1.2. Planeación mediante software.	26
3.2. IMPLANTES QUE SE ADAPTAN A LA GEOMETRÍA ÓSEA DEL PACIENTE (PATIENT SPECIFIC IMPLANT PSI.).....	30
3.2.1. Proceso de diseño y desarrollo de un implante a la medida.	31
3.3. VISUALIZACIÓN MÉDICA	32
3.3.1. Imagen médica computarizada	32
3.4. INTERACCIÓN HOMBRE COMPUTADOR HCI (HUMAN-COMPUTER INTERACTION)	34
3.4.1. Interfaz de usuario.....	35
3.4.1.1. Herramientas para el diseño de interfaces.....	35
3.4.1.2. Factores cognoscitivos en HCI.....	37
3.4.1.3. Prototipos de interfaz gráfica.....	38
4. METODOLOGÍA.....	41
5. FASE 1: OBSERVACIÓN E INVESTIGACIÓN.....	45
5.1. INVESTIGACIÓN DE LOS DISTINTOS ELEMENTOS ENMARCADOS EN EL CONTEXTO DE GUI.....	45
5.1.1. Crear ecuación de búsqueda.	45
5.1.2. Revisión de la literatura	48

5.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN Y OBSERVACIÓN DE LOS ENFOQUES EN CUESTIÓN DE VISUALIZACIÓN MÉDICA	50
5.2.1. Definición de conceptos de Interfaz de usuario.....	50
5.2.2. Jerarquización	50
5.2.3. Identificar metodologías del proceso quirúrgico	51
5.3. BÚSQUEDA DE NECESIDADES Y ESTABLECIMIENTO DE REQUERIMIENTOS	56
5.3.1. Realización de entrevistas a los usuarios objetivo.	56
5.3.2. Creación de arquetipos de usuario.....	56
5.3.3. Jerarquizar necesidades	58
5.3.4. Interpretar requerimientos	59
6. FASE 2 PROPUESTA Y DESARROLLO	61
6.1. IDEACIÓN	61
6.1.1. Recopilar información.....	61
6.1.2. Cardsorting.....	69
6.1.3. Arquitectura de información.....	73
6.1.4. Listado de tareas.....	74
6.1.4.1. Identificación de tareas generales.....	75
6.1.4.2. Descomposición en las tareas específicas.....	75
6.1.4.3. Diagramas de flujo de tareas	76
6.2. DISEÑO DE INTERACCIÓN	80
6.2.1. Definición de gestos existentes	80
6.2.2. Desarrollo de diagrama de Información-Acción-Interacción.....	82
6.3. PROTOTIPADO Y PRUEBAS	84
6.3.1. Primera iteración de prueba con prototipos.....	86
6.3.1.1. Prueba primer prototipo de papel.....	86
6.3.1.2. Prueba segundo prototipos de papel	88
6.3.2. Segunda iteración prototipos digitales (Complejidad media).....	91
6.3.2.1. Prueba primer prototipo digital	92
6.3.2.2. Prueba segundo prototipo digital de complejidad media.....	96

6.3.3. Tercera iteración Prototipo digital de alta fidelidad	100
6.4. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN	105
6.4.1. Diseño y elaboración de recursos visuales.	105
6.4.1.1. Color	105
6.4.1.2. Diagramación	107
6.4.1.3. Imagen de la herramienta	112
6.4.1.4. Tipografía	114
6.4.2. Diseño del sistema	115
6.4.3. Desarrollo de la herramienta	117
7. FASE 3 VALIDACIÓN	124
7.1. DISEÑO DE PRUEBAS	124
7.1.1. Desarrollo del plan de pruebas	124
7.1.2. Selección de los participantes	125
7.1.3. Preparación de los materiales necesarios	125
7.2. LLEVAR A CABO LAS PRUEBAS	126
7.2.1. Realización de la prueba	126
7.2.2. Prueba reconstrucción de ligamento cruzado anterior	128
7.2.2.1. Captación de datos	128
7.2.3. Prueba fractura de platillo tibial que requiere de implante personalizado .	132
7.2.3.1. Captación de datos	132
7.2.4. Prueba Diseñador	134
7.2.4.1. Captación de datos	135
7.2.5. Pruebas de satisfacción	136
8. CONCLUSIONES	140
BIBLIOGRAFÍA	143
ANEXOS	148

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Diagrama de planeación tradicional.....	24
Ilustración 2. Goniómetro de 2 brazos	25
Ilustración 3. Dibujo de una fractura, con la información de la cirugía.....	26
Ilustración 4. Captura de pantalla del software Traumacad del año 2002	28
Ilustración 5. Esquema de planeación preoperatoria digital.....	29
Ilustración 6. Software de entrenamiento, con visualización 3d de la anatomía del paciente, este brinda libertad de interacción para su observación.....	34
Ilustración 7. Iconos desarrollados por el instituto americano de artes gráficas. Son señales legales de información.....	36
Ilustración 8. Ilustración que tiene como objetivo comunicar el mensaje de “peligro” de la mejor manera posible.....	36
Ilustración 9. Distintos tipos de tipografías.....	37
Ilustración 10. Prototipo rápido de papel.....	39

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Actividades, procesos y resultados fase 1	41
Tabla 2. <i>Actividades, procesos y resultados fase 2.1</i>	42
Tabla 3. Actividades, procesos y resultados fase 2.2	43
Tabla 4. <i>Actividades, procesos y resultados fase 3</i>	44
Tabla 5 Proceso de desarrollo de la fase 1 observación e investigación.....	45
Tabla 6. Resumen búsqueda de literatura	49
Tabla 7. Resumen y clasificación de los conceptos obtenidos de la búsqueda.	50
Tabla 8. Resultados búsqueda de literatura sobre proceso pre-planeación psi.....	53
Tabla 9. Clasificación de necesidades, importancia de las necesidades e interpretación de requerimientos.....	59
Tabla 10. Clasificación FURPS de los requerimientos de diseño	60
Tabla 11. Esquema de proceso de la fase 2: propuesta y desarrollo	61
Tabla 12. Entradas, usuarios y salidas del proceso de pre-planeación psi.....	63
Tabla 13. Métodos de marcación de puntos para el túnel femoral.....	65
Tabla 14. Métodos de marcación de puntos para el túnel tibial	66
Tabla 15. Resultados de la prueba cardsorting cerrado	71
Tabla 16. Tareas generales	75
Tabla 17. Descomposición de las tareas en sub-tareas	76
Tabla 18. Diagrama de información-acción-interacción (gesto).....	83
Tabla 19. Resultados pruebas del primer prototipo digital	94
Tabla 20. Tablas de resultados evaluación prototipo digital	98
Tabla 21. Tiempo de realización de las tareas del flujo	103
Tabla 22. Esquema de proceso de la fase 3: Validación	124
Tabla 23. Tabla de atributos y métricas a evaluar	128
Tabla 24. Tabla de especificación de tareas para la prueba con usuario ortopedista LCA.....	128
Tabla 25. Tabla de especificación de tareas para la prueba con usuario ortopedista PSI	132
Tabla 26. Tabla de especificación de tareas para la prueba con usuario diseñador	134

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de diseño de un implante a la medida.	31
Figura 2. Esquema de método para la realización de la ecuación de búsqueda ...	45
Figura 3. Jerarquización de conceptos	51
Figura 4. Esquema de flujo de trabajo para cirugía de reconstrucción LCA	54
Figura 5. Esquema de resumen del flujo de trabajo en el proceso de pre- planeación psi	55
Figura 6. Arquetipos de los 2 usuarios.....	57
Figura 7. Etapas del proceso del tratamiento de una fractura de platillo tibial	62
Figura 8. Esquema de fases del proceso en torno a los 2 usuarios.....	64
Figura 9. Resultados selección fémur.....	67
Figura 10. Resultados selección tibia	68
Figura 11. Realización de la encuesta	68
Figura 12. Esquema de pre-planeación reconstrucción de lca	69
Figura 13. Esquema resumen de metodología cardsorting	69
Figura 14. Realización del cardsorting con diferentes usuarios	70
Figura 15. Tarjetas y Organización preliminar basado en la literatura	70
Figura 16. Dendograma agrupación de conceptos	72
Figura 17. Organización del cardsorting obtenido de las pruebas con usuarios	73
Figura 18. Diagrama de arquitectura de información	74
Figura 19. Procedimiento definición de lista de tareas.....	74
Figura 20. Diagrama de flujo de las tareas	77
Figura 21. Términos y definiciones de los gestos touch y equivalentes como gestos click.....	80
Figura 22. Metáforas utilizadas en iconos para mejorar reconocimiento	81
Figura 23. Prototipo de papel.....	86
Figura 24. Resumen primer diagrama de arquitectura de información	87
Figura 25. Segundo diagrama de arquitectura de información	89
Figura 26. Prueba del prototipo de papel.....	89
Figura 27. Prototipo digital	93
Figura 28. Prueba del primer prototipo digital	93
Figura 29. Diagrama de arquitectura de información prototipo digital de media complejidad.....	96
Figura 30. Pruebas prototipo digital	101
Figura 31. Gráfica de progreso del porcentaje de usabilidad.....	104
Figura 32. Metodología de selección del color.....	105
Figura 33. Muestras de diferentes matices del color.....	106

Figura 34. Ejemplo del contraste general de la herramienta.....	107
Figura 35. Código de colore para su localización RGB y hexadecimal.....	107
Figura 36. Ejemplo del funcionamiento de Bootstrap.....	108
Figura 37. Diagramación sección de inicio	109
Figura 38. Diagramación sección de selección de caso.	110
Figura 39. Diagramación sección de proceso	111
Figura 40. Conceptos iniciales de isotipo	112
Figura 41. Evolución del concepto del isotipo	113
Figura 42 Planimetría del isotipo.....	113
Figura 43. Muestra del imagotipo.....	114
Figura 44. Recomendación de imagotipo	114
Figura 45 Tipografía.....	115
Figura 46. Hoja de estilo	117
Figura 47. Estructura página de inicio.....	118
Figura 48. Estructura general de la herramienta digital área web.....	119
Figura 49. Estructura general del visualizador 3D LCA	120
Figura 50. Estructura general controles adicionales LCA	121
Figura 51. Estructura general del visualizador 3d PSI	122
Figura 52. Capturas de la interfaz.....	123
Figura 53. Prueba preliminar.....	126
Figura 54. Pruebas de usabilidad	127
Figura 55. Resultados prueba Eficacia ortopedista LCA.....	129
Figura 56. Resultados prueba Eficiencia ortopedista LCA.....	130
Figura 57. Resultados prueba Eficacia ortopedista PSI.....	132
Figura 58. Resultados prueba Eficiencia ortopedista PSI	133
Figura 59. Resultados prueba Eficacia diseñador.....	135
Figura 60. Resultados prueba Eficiencia diseñador.....	135
Figura 61. Representación delos resultados de la prueba de satisfacción	137

LISTA DE ANEXOS

Anexo A Formato entrevista de necesidades	148
Anexo B Formato documento diseño de la prueba	150
Anexo C Formato de captación pruebas eficacia y eficiencia	155
Anexo D Formato prueba de usabilidad.....	158
Anexo E Formato encuesta de metodo para ubicación de tuneles LCA	161
Anexo G primer y segundo Prototipo de papel	172
Anexo H Tercer y cuarto prototipo de papel	173
Anexo I Primer prototipo digital	174
Anexo J segundo prototipo digital	175
Anexo K Prototipo digital de media complejidad	176
Anexo L Formato de evaluación heuristica sirius.....	177
Anexo M Capturas prototipo final.....	181

RESUMEN

TITULO: Diseño y desarrollo de una herramienta digital para asistir la etapa de pre-planeación de cirugías ortopédicas orientado a intervenciones de rodilla¹

AUTORES: JORGE LEONARDO SOTO GARNICA²

PALABRAS CLAVE: Implantes personalizados, aplicación de pre-planeación, planeación preoperatoria.

La aplicación de las técnicas imagenológicas, como las tomografías axiales computarizadas (TAC), utilizadas para el diagnóstico de trauma o patologías, se han convertido en insumo esencial para la toma de decisiones en las etapas previas de una intervención quirúrgica. La planeación pre-operatoria es una de las etapas previas más importantes durante el tratamiento, es un proceso específico para cada paciente por el cual el cirujano decide cómo se realizará la intervención, con el fin de evitar complicaciones y predecir la duración de la cirugía. Este proceso conlleva la gestión de un conjunto extenso de datos, tanto de información del paciente como de visualización médica, por ende se debe realizar mediante el apoyo de una herramienta digital, ya que esta permite reducir tiempos de procesos, visualizar el trauma óseo y brindar información necesaria para la intervención. En este proyecto se diseñó la interfaz gráfica de usuario, de una herramienta digital móvil que le permite al cirujano, realizar la pre-planeación quirúrgica enmarcado en 2 casos de estudio orientados a intervenciones de rodilla. La aplicación le otorgara al cirujano las funcionalidades necesarias para la planeación, como el manejo de la información, el control de los procesos y la visualización de las diferentes patologías presentadas por el paciente.

Este trabajo de grado es parte del proyecto: SISTEMA DE ORIENTACIÓN USANDO REALIDAD AUMENTADA PARA LA PERFORACIÓN DE TÚNELES TIBIAL Y FEMORAL EN LA RECONSTRUCCIÓN DE LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR, financiado por COLCIENCIAS.

¹ Proyecto de grado

² Facultad Fisicomecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Director: Luis Eduardo Bautista Rojas. Co-director: Clara Isabel López Gualdrón.

ABSTRACT

TITTLE: Design and development of a digital tool to assist the pre-planning stage of orthopedic surgery aimed at knee interventions³

AUTHOR: JORGE LEONARDO SOTO GARNICA⁴

KEY WORDS: Custom implants, pre-planning application, preoperative planning.

The use of imaging techniques, such as computerized axial tomography (CT), used for the diagnosis of trauma or pathologies, has become an essential input for decision making in the previous stages of a surgical intervention. Preoperative planning is one of the most important preliminary stages during the treatment. It is a specific process for each patient by which the surgeon decides how the intervention will be performed, in order to avoid complications and to predict the duration of the surgery. This process involves the management of an extensive set of data, both patient information and medical visualization, so it must be done through the support of a digital tool, since it allows reducing process times, visualizing bone trauma and toasting Necessary information for the intervention. In this project the graphic user interface was designed, a mobile digital tool that allows the surgeon to perform the surgical pre-planning framed in 2 cases of study oriented to knee interventions. The application will give the surgeon the functionalities necessary for planning, such as information management, process control and visualization of the different pathologies presented by the patient.

This degree work is part of the project: GUIDANCE SYSTEM USING INCREASED REALITY FOR TIBIAL AND FEMALE TUNNEL DRILLING IN THE RECONSTRUCTION OF PREVIOUS CROSS LINK, funded by COLCIENCIAS.

³ Degree project

⁴ Faculty of Physique Mechanics School of Industrial Design. Project Manager: Luis Eduardo Bautista Rojas. Project co-manager: Clara Isabel López Gualdrón.

INTRODUCCIÓN

EL trabajo de grado realizado, es la culminación del desarrollo de la interfaz gráfica de usuario para el módulo de pre-planeación del proyecto SISTEMA DE ORIENTACIÓN USANDO REALIDAD AUMENTADA PARA LA PERFORACIÓN DE TÚNELES TIBIAL Y FEMORAL EN LA RECONSTRUCCIÓN DE LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR, financiado por Colciencias. Donde abarca la recopilación de la información pertinente, la creación de una arquitectura de navegación y la presentación visual. El desarrollo se realizó en colaboración con el proyecto de grado HERRAMIENTA DE SOFTWARE PARA ASISTIR LA ETAPA DE PRE-PLANEACIÓN QUIRÚRGICA ORTOPÉDICA DE IMPLANTES AJUSTADOS A LA GEOMETRÍA ÓSEA de la estudiante de ingeniería de sistemas Angélica Luna Ayala.

La pre-planeación preoperatoria o pre-planeación quirúrgica, es una de las etapas previas a la cirugía que permite establecer el abordaje y procedimiento quirúrgico a seguir⁵. La realización de este proceso otorga una mejor comprensión sobre las prácticas y las mediciones anatómicas adecuadas durante la intervención. La importancia de realizar una adecuada pre-planeación afecta directamente el resultado de la intervención ya que de la asertividad de este proceso se pueden tomar las decisiones correctas sobre el tratamiento a seguir⁶.

La pre-planeación quirúrgica se puede realizar de 2 maneras: manual o digitalmente. La pre-planeación manual se realiza usando papel para calco y herramientas de dibujo convencionales, con estos elementos se planea la intervención. Por otro lado, el cirujano realiza el proceso de pre-planeación mediante el uso de herramientas digitales, esto trae consigo notables beneficios

⁵ B J Holdsworth, 'Planning in Fracture Surgery', *Frontiers in Fracture Management*. London: Martin Dunitz, 1989, 1–15.

⁶ E. Jacobo, 'Planificación Preoperatoria Digital en en Traumatología '. *Journal Ultrasound*, 2009.

para los pacientes, tales como la reducción de complicaciones postoperatorias y disminución de tiempo en quirófano⁷.

Sin embargo, las herramientas digitales móviles existentes están desarrolladas para aportar datos sobre las dimensiones del trauma, pero no proporcionan una plataforma que realice un seguimiento personalizado al tratamiento del paciente. Se hace necesario el desarrollo de una herramienta digital, que soporte el proceso de pre-planeación, con el fin de brindar una solución al ortopedista; de esta forma llevar a cabo un proceso metódico que facilite la toma de decisiones asertivas para la intervención⁸.

El objetivo de este proyecto fue desarrollar la interfaz gráfica de usuario (GUI) de una herramienta digital, que funcione como un apoyo al proceso de planificación pre-operatoria orientado a intervenciones de rodilla. En el proyecto se propone gestionar el proceso de pre-planeación que abarca el diagnóstico del paciente, la gestión de imágenes diagnosticas (TAC, MRI) y la pre-planeación de las diferentes etapas previas a la intervención.

Para lograr este objetivo se identificaron las necesidades del ortopedista y del personal en el proceso de pre-planeación, posteriormente se generaron conceptos en la arquitectura de información, seguido del diseño de interacción. Estos procesos fueron corroborados mediante prototipos y pruebas con usuarios. Finalmente se implementó la interfaz gráfica en el desarrollo de la herramienta, donde posteriormente se realizaron las respectivas evaluaciones de usabilidad⁹. Con el desarrollo de la herramienta digital se logró estimar recursos visuales y equipo de instrumental quirúrgico, organizar la información del caso, documentar

⁷ P Scolozzi, 'Computer-Aided Design and Computer-Aided Modeling (CAD/CAM) Generated Surgical Splints, Cutting Guides and Custom-Made Implants: Which Indications in Orthognathic Surgery?', *Revue de Stomatologie, de Chirurgie Maxillo-faciale et de Chirurgie*, 2015, 343–49.

⁸ Yuan Z Zhang and others, 'Design and Primary Application of Computer-Assisted, Patient-Specific Navigational Templates in Metal-on-Metal Hip Resurfacing Arthroplasty.', *The Journal of Arthroplasty*, 2011, 1083–87.

⁹ Juan Gabriel Enriquez and Sandra Isabel Casas, 'Usabilidad En Aplicaciones Móviles', *ICT Desarrollado En El Marco Del Proyecto UNPA 29/A273-1*, 2013, 1–23.

el proceso de pre-planeación quirúrgica¹⁰, permitir una comunicación asíncrona entre los usuarios y desarrollar un sistema de visualización 3D que puede ser usado como guía para el diseño de implantes personalizados o como orientación durante el proceso quirúrgico.

¹⁰ Natalie L Leong and others, 'Computer-Assisted versus Non-Computer-Assisted Preoperative Planning of Corrective Osteotomy for Extra-Articular Distal Radius Malunions: A Randomized Controlled Trial.', *BMC Musculoskeletal Disorders*, 2010.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una precisa planificación quirúrgica es el pilar del éxito de una cirugía ortopédica. *“La planificación preoperatoria debe entenderse como un predictor adecuado, de las medidas anatómicas encontradas luego en la cirugía”*¹¹ Tradicionalmente se realiza este proceso mediante el uso de un calco y herramientas de dibujo, este método conlleva mucho tiempo y es poco preciso por las implicaciones que conlleva un trazado manual¹². Se han documentado casos donde realizar la planificación de forma manual, aumenta la probabilidad de una malunion (nombre que se le da a una fractura que no es curada apropiadamente)¹³. Por lo tanto, es importante que el cirujano se apoye en recursos digitales, como herramientas software de pre-planeación las cuales disminuyen la probabilidad de riesgos y mejoran el tiempo invertido¹⁴.

Según Parthasarathy cada vez más ortopedistas optan por el uso de PSI (Patient Specific Implants) por las numerosas ventajas que estos ofrecen, como son: la adaptación precisa a la zona de implantación, menor tiempo de quirófano y mejor respuesta por parte del paciente¹⁵. El modelo de pre-planeación planteado para PSI consiste en realizar un seguimiento personalizado del caso clínico, el cual permite comprender detalladamente la situación, reducir la incertidumbre y tomar decisiones acertadas, sin embargo este proceso no necesariamente implica que la respuesta ante un trauma óseo sea el empleo de PSI. Este modelo de pre-

¹¹ Fernando A Lopreite, Diego Mana Pastro, and Santiago Suárez, 'Planificación Manual Preoperatoria En El Reemplazo Total de Rodilla Primario', 2011, 152–57.

¹² Jacobo. Op. cit.

¹³ Leong and others. Op. cit.

¹⁴ P. Lascombes and others, 'Classification of Complications after Progressive Long Bone Lengthening: Proposal for a New Classification', *Orthopaedics and Traumatology: Surgery and Research*, 2012, 629–37.

¹⁵ Jayanthi Parthasarathy, '3D Modeling, Custom Implants and Its Future Perspectives in Craniofacial Surgery', *Annals of Maxillofacial Surgery*, 2014, 9.

planeación personalizado, requiere de procesos adicionales que conllevan a una mayor inversión de tiempo y recursos, debido a las características diversas de los diferentes traumas y patologías¹⁶. Por otra parte, al utilizar una herramienta digital móvil para el proceso de pre-planeación, genera diversas ventajas como: la reducción del tiempo, organización de procesos y el incremento tanto de la precisión como la exactitud de las diferentes medidas que se deben tener en cuenta en la planeación¹⁷.

En el marco del presente proyecto se propone el diseño de la interfaz gráfica de usuario de una herramienta digital que apoye el proceso de pre-planeación quirúrgica de cirugías ortopédicas. Dado que en la pre-planeación digital se procesa un conjunto extenso de datos, como: Imágenes médicas, datos del caso clínico, entre otros, hace que sea necesario considerar el tiempo y la eficiencia con la que se visualizaran. La visualización en este contexto, se refiere al uso de técnicas graficas digitales, para otorgar una presentación de los datos en un entorno visual interactivo, a esto se le conoce como visualización médica¹⁸. La interpretación de imágenes CT, datos del paciente, clasificaciones y reconstrucciones 3D; afectan al diagnóstico y las decisiones que se tomen con respecto al procedimiento quirúrgico¹⁹. Por los argumentos anteriores es pertinente el desarrollo de una GUI (Graphic User Interface) para la herramienta digital, que proporcione información de utilidad en el proceso de pre-planeación quirúrgica y sea de fácil comprensión para los usuarios.

¹⁶ Dennis Rohner and others, 'Importance of Patient-Specific Intraoperative Guides in Complex Maxillofacial Reconstruction', *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 2013, 382–90.

¹⁷ Gabriel Venne and others, 'Comparing Conventional and Computer-Assisted Surgery Baseplate and Screw Placement in Reverse Shoulder Arthroplasty.', *Journal of Shoulder and Elbow Surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et Al.]*, 2015, 1112–19.

¹⁸ Bernhard Preim and Charl Botha, 'Chapter 1 - Introduction', in *Visual Computing for Medicine (Second Edition)*, ed. by Bernhard Preim and Charl Botha, Second Edi, Boston: Morgan Kaufmann, 2014, pp. 1–11.

¹⁹ J. Christian and others, 'Computer Aided Analysis of Gait Patterns in Patients with Acute Anterior Cruciate Ligament Injury', *Clinical Biomechanics*, 2016, 55–60.

Ante esta problemática se plantea la siguiente pregunta de diseño envuelta en el marco de la investigación.

¿Qué relación tiene la visualización de la información médica con respecto a las decisiones del ortopedista al momento de realizar el proceso de pre-planeación?

1.2. JUSTIFICACIÓN

La culminación satisfactoria de una intervención quirúrgica depende de la planeación que se haya realizado previamente, el tiempo que se le dedique aumentara la probabilidad de éxito y disminuirá la incertidumbre²⁰. La pre-planeación quirúrgica manual requiere de un tiempo considerable y es propenso a errores debido a factores humanos. Por otro lado la aplicación de una herramienta digital en la pre-planeación le brinda al cirujano un proceso más exacto y repetible²¹. Esta etapa procesa un número considerable de datos, tanto de información de la patología como de imágenes de visualización médica, que deben ser presentados al ortopedista de manera rápida y precisa, para poder realizar sus tareas y tomar decisiones acertadas²².

Por lo tanto el proyecto propone el desarrollo de la interfaz gráfica de una herramienta digital móvil, que sea un apoyo al proceso de pre-planeación quirúrgica, orientado a intervenciones de rodilla. Estará soportado mediante la aplicación de técnicas de visualización medica de datos²³, de esta manera brindar al usuario todas las herramientas pertinentes para poder realizar el proceso de pre-planeación eficientemente.

²⁰ Fernando A Lopreite, Diego Mana Pastroán, and Santiago Suárez, 'Planificación Manual Preoperatoria En El Reemplazo Total de Rodilla Primario', 2011, 152–57.

²¹ E Ramírez and E Coto, 'TRAUMAPLAN: Para La Planificación Preoperatoria En Traumatología', *Revista Venezolana de Información*, 2011, 61–78.

²² Preim and Botha, 'Chapter 1 - Introduction'. Op. cit.

²³ Ibid.

El proyecto va dirigido a cirujanos ortopédicos, diseñadores de implantes personalizados y especialistas instrumentadores, quienes podrán realizar sus actividades de manera coordinada para dar una respuesta más asertiva en búsqueda del bienestar del paciente.

1.3. ALCANCES

En este proyecto se plantea el diseño, elaboración y evaluación de la Interfaz gráfica de Usuario de la herramienta de pre-planeación que el cirujano ortopédico usará en el proceso de planeación quirúrgica; el desarrollo del proyecto se enfocará en un caso de estudio, el cual será asignado por el equipo de trabajo del grupo Interfaz, encargado de diseñar implantes a la medida bajo previa selección del asesor científico.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar la interfaz gráfica de usuario para una herramienta digital, que asista la etapa de pre-planeación quirúrgica ortopédica de un caso de estudio, orientado a intervención de rodilla.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer requerimientos de interfaz, mediante la identificación de elementos GUI (del inglés Graphical User Interface) implementados en herramientas digitales ortopédicas, por medio de revisión de literatura y análisis de contenidos.
- Evaluar las diferentes propuestas de arquitectura de información, durante el desarrollo de la metodología de HCI (Human-computer Interaction). Por medio de comprobación por prototipos.
- Determinar el nivel de usabilidad de la herramienta digital, mediante la evaluación por métricas (Eficiencia, efectividad y satisfacción).

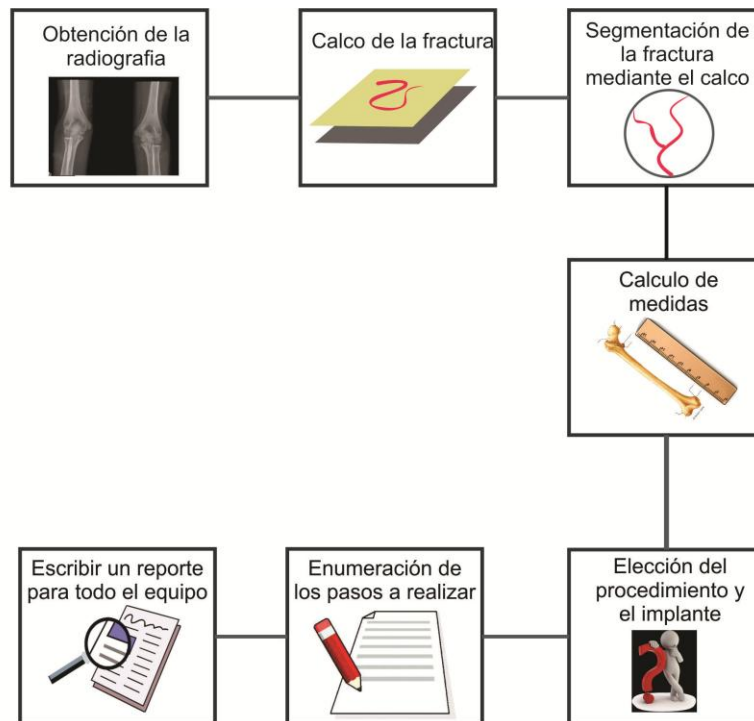
3. MARCO TEÓRICO

3.1. PLANEACIÓN PREOPERATORIA

Es un procedimiento indispensable que debe realizarse previo a una intervención quirúrgica, cuyos objetivos son: Identificar y clasificar la fractura²⁴, establecer la técnica o el procedimiento a seguir en la intervención y predecir los resultados de la cirugía²⁵.

3.1.1. Método manual²⁶.

Ilustración 1. Diagrama de planeación tradicional.



Fuente: Esmitt Ramírez Jacobo, 'Planificación Preoperatoria Digital En En Traumatología', *Ultrasound*, 2009.

²⁴ Ramírez and Coto. Op. cit.

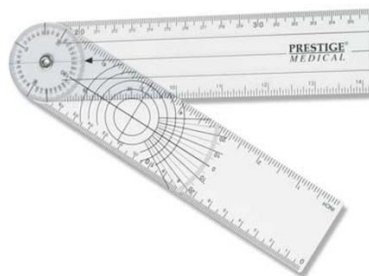
²⁵ Jeffrey Mast, Roland Jakob, and Reinhold Ganz, *Planning and Reduction Technique in Fracture Surgery*, Springer Science & Business Media, 2012.

²⁶ Holdsworth. Op. cit.

Este método consiste en realizar un dibujo de los segmentos de fractura y del hueso, mediante el uso de papel de calco; los calcos le permiten al cirujano entender la complejidad de la fractura, la forma de reducción de la misma, la aplicación del principio biomecánico y la elección del implante necesario. El material y herramientas necesarias para realizar la planeación es el siguiente:

1. Radiografías adecuadas incluyendo el lado sano (por ejemplo en una fractura en alguna de las extremidades). El lado sano se observa para realizar una comparación con respecto al lado sano, teniendo en cuenta la simetría del cuerpo humano.
2. Papel translucido.
3. Conjunto de posibles plantillas de implantes que se necesiten para la intervención.
4. Un goniómetro: Instrumento utilizado para medir valores angulares y rangos articulares.
5. Lápices o marcadores de colores para poder realizar el trazo.
6. Negatoscopio: Dispositivo constituido por una placa translúcida colocada en frente de una fuente luminosa, utilizada para observar las radiografías.

Ilustración 2. Goniómetro de 2 brazos

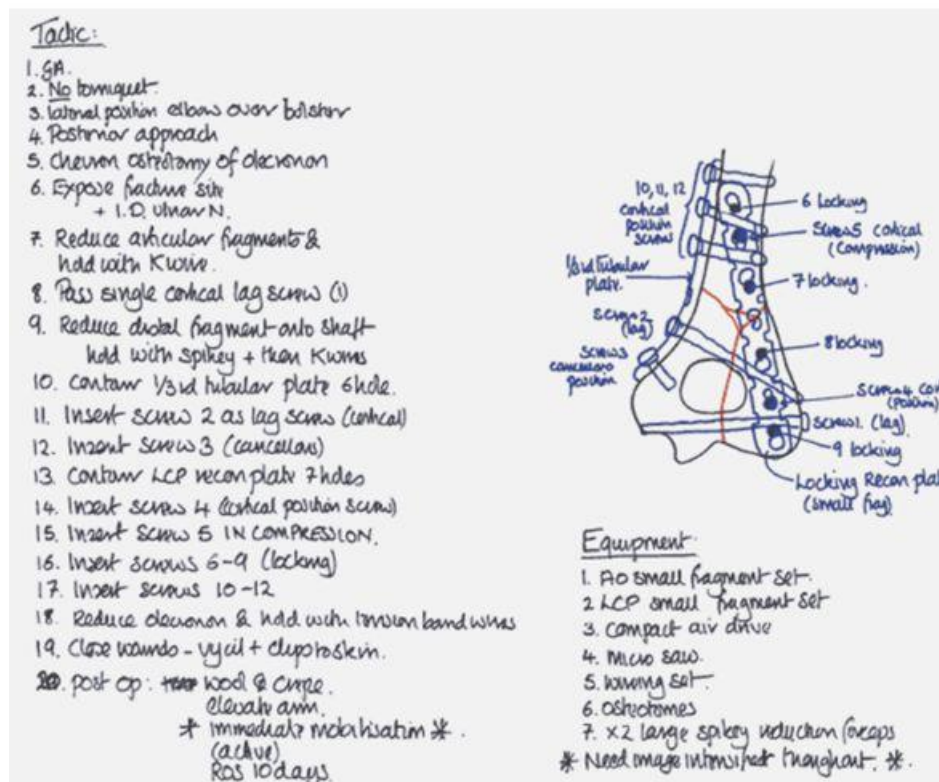


Fuente: Esmitt Ramírez Jacobo, 'Planificación Preoperatoria Digital En En Traumatología',
Ultrasound, 2009.

La elección del procedimiento quirúrgico dependerá de los factores fisiológicos y las características de la fractura. El implante debe ser elegido en base a las decisiones del cirujano, tales como el tipo de procedimiento, el principio biomecánico, el tipo de implante, sus dimensiones, etc.

En el abordaje el cirujano debe enumerar todos los pasos a seguir durante la intervención con el fin de evitar distracciones y que todo el equipo quirúrgico esté al tanto del procedimiento.

Ilustración 3. Dibujo de una fractura, con la información de la cirugía.



Fuente: Esmitt Ramírez Jacobo, 'Planificación Preoperatoria Digital En En Traumatología', Ultrasound, 2009.

3.1.2. Planeación mediante software.

Se caracteriza por la utilización de una herramienta digital durante el proceso de pre-planeación, esta le brinda al cirujano precisión y exactitud, además de disminuir el tiempo invertido y la incertidumbre. Desde 1980 con el uso de

programas CAD (Diseño asistido por computador) es cada vez más frecuente su utilización entre especialistas²⁷.

3.1.2.1. Antecedentes.

El primer software destinado para la pre-planeación ortopédica, fue presentado en 2001 por Mihalko y A.K. Kenneth²⁸. Este software CAD, permite medir la longitud del hueso antes y después de la colocación de un implante, para así cuantificar la deformación del mismo.

En el 2002, un grupo de expertos, presentan un sistema de pre-planeación para el reemplazo total de cadera, donde se utilizan radiografías convencionales²⁹. Basados en la misma idea, fueron lanzados al mercado sistemas CAOS (Del inglés Computer Assisted Orthopaedic Surgery. Cirugía ortopédica asistida por computadora.) Como NovaRAD ®, TraumaCAD ® y secta OrthoStation Package ®, los cuales permiten realizar la planificación de forma digital y cuentan con una amplia librería de implantes predefinidos.

TraumaCAD, es un software especializado de pre-planeación que permite la importación y exportación de todos los sistemas de archivo de imágenes de comunicación (PACS), desde cualquier base de datos o estaciones de trabajo. Este permite realizar mediciones, simulaciones, visualizar osteotomías y generar una reducción de la fractura³⁰.

La herramienta trabaja para los siguientes procedimientos: Cadera, rodilla, miembro superior, pie, tobillo, pediatría, deformidades, traumas y espina dorsal. TraumaCAD es preciso y exacto, cuenta con herramientas de medida y capaz de

²⁷ Jacobo. Op. cit.

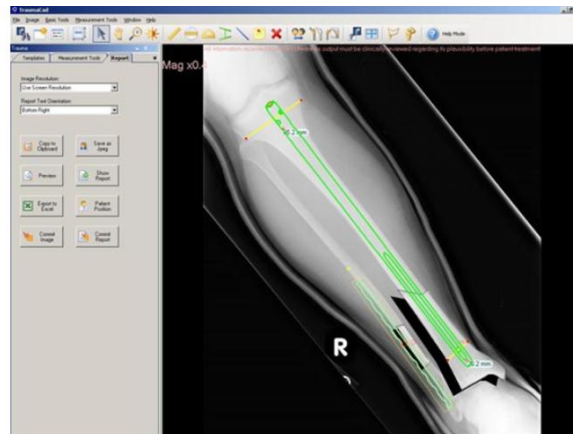
²⁸ William M. Mihalko and Kenneth A. Krackow, 'Preoperative Planning for Lower Extremity Osteotomies', *The Journal of Arthroplasty*, 2001, 322–29.

²⁹ M. Viceconti and others, 'CT-Based Surgical Planning Software Improves the Accuracy of Total Hip Replacement Preoperative Planning', *Medical Engineering and Physics*, 2003, 371–77.

³⁰ Ely Liviu Steinberg and others, 'Preoperative Planning of Total Hip Replacement Using the TraumaCad (TM) System', *ARCHIVES OF ORTHOPAEDIC AND TRAUMA SURGERY*, 2010, 1429–32.

predecir los tamaños de los componentes. Mantiene en constante actualización su biblioteca de implantes, además permite la disminución de costos en papeleo.

Ilustración 4. Captura de pantalla del software Traumacad del año 2002



Fuente: Esmitt Ramírez Jacobo, 'Planificación Preoperatoria Digital En En Traumatología', Ultrasound, 2009.

En 2011 se desarrolló un sistema CAOS cuyo módulo de planificación preoperatoria de fracturas en los miembros inferiores se denomina Traumaplan®, con el cual el cirujano puede realizar el procedimiento en un entorno digital y en un corto periodo de tiempo. Esta herramienta permite la segmentación de la fractura y la deformación de implantes ortopédicos simulando el principio mecánico que requieren³¹.

El grupo INTERFAZ ha realizado varios trabajos en el campo de los PSI, se pueden encontrar publicaciones en diferentes temas como implantes de cadera, craneoplastia, intervenciones maxilofaciales entre otras³².

³¹ Ramírez and Coto. Op. cit.

³² Clara I. Lopez and others, 'Ingeniería Inversa Aplicada a Herramientas Software Bio-CAD Para El Desarrollo de Modelos Virtuales Óseos 3D', *Sexto Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica, Cuarto de Ingeniería Mecatrónica, Y Cuarto Congreso Internacional de Materiales Energía Y Medio Ambiente*, 2013.

3.1.2.2. Esquema de planificación preoperatoria digital.

Estas herramientas, usan como base imágenes obtenidas mediante equipos de diagnóstico digital y manejan un esquema similar al siguiente:

Ilustración 5. Esquema de planeación preoperatoria digital



Fuente: Esmitt Ramírez Jacobo, 'Planificación Preoperatoria Digital En En Traumatología', Ultrasound, 2009.

Una vez obtenida la imagen y después de las respectivas mejoras, se procede a la segmentación de los fragmentos del hueso, donde el cirujano debe ensamblarlos, colocarlos en sus posiciones correctas y completar la reducción de la fractura. Si se requiere el uso de un implante, se debe escoger de la librería que ofrece el software para posteriormente colocarlo como una plantilla sobre la imagen. Los implantes deben ser moldeados para que sean anatómicamente correctos y se adapten a la geometría del hueso del paciente. En el quirófano el cirujano emplea

un alicata especial para la deformación de los mismos³³. Durante el proceso digital se debe realizar una modificación a la plantilla del implante, donde simulando una fuerza mecánica se procede a la deformación y colocación en la imagen de la fractura.

Finalmente después de que el especialista realice todas las medidas pertinentes y haya tomado todas las decisiones, el programa procede a entregar un reporte, donde expone una síntesis de la planeación realizada y se usara de guía para la respectiva intervención³⁴.

3.2. IMPLANTES QUE SE ADAPTAN A LA GEOMETRÍA ÓSEA DEL PACIENTE (PATIENT SPECIFIC IMPLANT PSI.)

Son implantes que se construyen teniendo en cuenta las dimensiones y la geometría ósea del paciente. Estos son mejores que sus contrapartes estándar debido a la reducción de tiempos en quirófano y el aumento de la eficiencia intraoperatoria³⁵. El desarrollo de los PSI es posible mediante la utilización de equipos de diagnóstico, como son la tomografía computarizada o las imágenes mediante resonancia magnética, los cuales permiten generar una reconstrucción precisa, que arroja suficientes datos para poder construir el implante³⁶.

Los PSI, requieren un alto nivel de precisión a la hora de su construcción, como consecuencia es imposible recrearlos de manera artesanal, por lo tanto se

³³ Ramírez and Coto. Op. cit.

³⁴ Jacobo. Op. cit.

³⁵ Rohner and others. Op. cit.

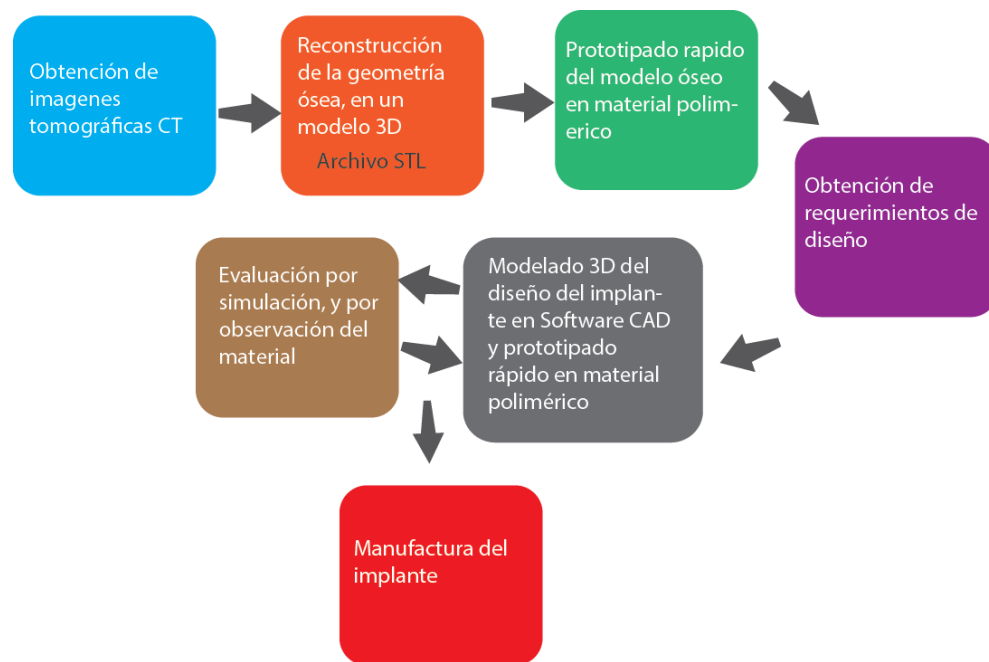
³⁶ Parthasarathy. Op. cit.

emplean tecnologías de prototipado rápido, usando materiales específicos para el caso que se necesite³⁷.

3.2.1. Proceso de diseño y desarrollo de un implante a la medida.

El proceso de realización de un implante a la medida es representado en la siguiente gráfica:

Figura 1. Proceso de diseño de un implante a la medida.



El proceso comienza con la obtención de las imágenes topográficas CT los archivos generados por estos equipos son llamado DICOM, luego se reconstruye una imagen en 3D mediante la aplicación de un software Bio-CAD, esto genera suficientes datos del paciente tales como las medidas exactas de fisionomía, la geometría ósea y la gravedad de la fractura que este padezca³⁸.

³⁷ Ramón González Santos, 'Las Tecnologías de Prototipado Rápido En La Cirugía Rapid Prototyping Technologies in Surgery', 2013, 331–38.

³⁸ Patrick Eniola Fadero and Mahir Shah, 'Three Dimensional (3D) Modelling and Surgical Planning in Trauma and Orthopaedics.', *The Surgeon : Journal of the Royal Colleges of Surgeons of Edinburgh and Ireland*, 2014, 6–1.

El archivo resultante del CAD es un modelo digital en 3D que permite su edición mediante software de tratamiento tridimensional. Antes de proceder a diseñar el modelo de lo que será el implante se debe realizar una reunión con el cirujano y el fabricante para obtener requerimientos y restricciones. Al momento de proyectar el modelo se deben tener en cuenta factores como el tipo de intervención propuesto por el cirujano, la viabilidad de construcción con la tecnología que posee el fabricante, etc.³⁹.

Una vez obtenido el modelo propuesto se procede a crear un prototipo y evaluarlo, este proceso es iterativo y requiere de varias repeticiones para lograr un resultado que satisfaga las necesidades del paciente.

3.3. VISUALIZACIÓN MÉDICA

La visualización se refiere al uso de técnicas gráficas digitales, para crear una representación visual interactiva de los datos en un caso clínico, con el propósito de amplificar la cognición del médico especialista. Esta técnica tiene como resultado interacciones, las cuales apoyan al usuario en la navegación a través de los datos, comparación entre conjuntos de información, ajuste y análisis de los parámetros de visualización que definen las propiedades óptimas observables por el ojo humano⁴⁰.

3.3.1. Imagen médica computarizada

La visualización médica se conforma mediante el análisis, visualización y exploración de “datos de imágenes”. El procesamiento de imágenes para brindar información pertinente se puede observar en diferentes etapas:

- Diagnósis

³⁹ André Luiz Jardini and others, ‘Cranial Reconstruction: 3D Biomodel and Custom-Built Implant Created Using Additive Manufacturing’, *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 2014, 1877–84.

⁴⁰ Preim and Botha, ‘Chapter 1 - Introduction’. Op. cit.

- Pre-planeación
- Apoyo Intra-operatorio
- Documentación
- Propósitos educativos
- Investigación medica

3.3.1.1. Datos de imágenes médicas

Estos datos son obtenidos mediante dispositivos de escaneo, como las tomografías (CT) y las resonancias magnéticas (MRI). Existen otros tipos de obtención de imágenes como los ultrasonidos, las tomografías mediante emisión de positrones (PET) y las técnicas de medicina nuclear, pero los CT y MRI han dominado el medio debido a su alta resolución y a su buen rango señal-ruido⁴¹.

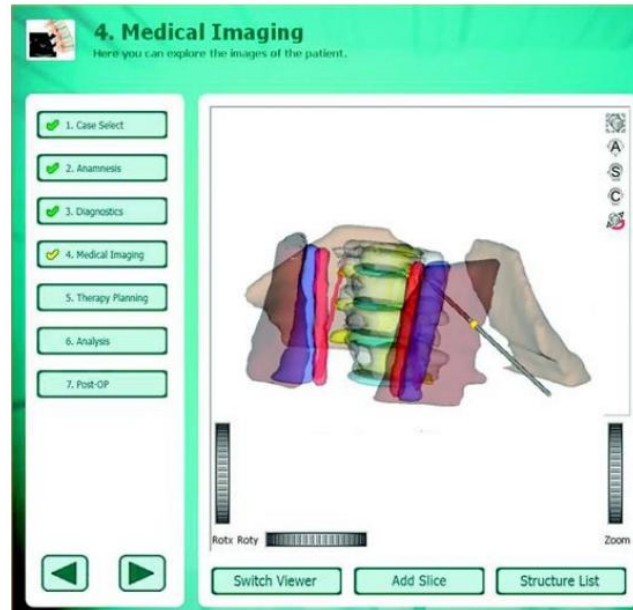
3.3.1.2. Interacción 3D

Con las imágenes médicas es posible desarrollar reconstrucciones 3D de los elementos médicos del caso clínico. En la visualización médica, la correcta representación 3D de la anatomía del paciente, de los instrumentos quirúrgicos y de los implantes necesarios es esencial para la comprensión de la cirugía. El sistema debe dar la capacidad de rotar, escalar, cortar y seleccionar dichos objetos con el fin de brindar una libertad de observación al usuario⁴².

⁴¹ Bernhard Preim and Charl Botha, 'Chapter 2 - Acquisition of Medical Image Data', in *Visual Computing for Medicine (Second Edition)*, ed. by Bernhard Preim and Charl Botha, Second Edi, Boston: Morgan Kaufmann, 2014, pp. 15–67.

⁴² Bernhard Preim and Charl Botha, 'Chapter 5 - Human-Computer Interaction for Medical Visualization', in *Visual Computing for Medicine (Second Edition)*, ed. by Bernhard Preim and Charl Botha, Second Edi, Boston: Morgan Kaufmann, 2014, pp. 177–225.

Ilustración 6. Software de entrenamiento, con visualización 3d de la anatomía del paciente, este brinda libertad de interacción para su observación.



Fuente: Preim and Botha, 'Chapter 5 - Human-Computer Interaction for Medical Visualization'.

3.4. INTERACCIÓN HOMBRE COMPUTADOR HCI (HUMAN-COMPUTER INTERACTION)

Fue concebido como un campo de estudio donde sus investigadores y profesionales tenían como premisa realizar mejores menús, diseñar interfaces graficas de usuarios basadas en la manipulación directa, mejorar dispositivos de entrada, diseñar paneles de control efectivos y presentar información comprensible. HCI ha contribuido con herramientas innovadoras que permitieron a programadores y no programadores crear interfaces para diversas aplicaciones y diferentes usuarios.

Los profesionales de HCI desarrollan los principios de diseño, directrices y a veces las normas que se ocupan de: la retroalimentación informativa, la prevención de errores, accesos directos para expertos y controles del usuario⁴³.

3.4.1. Interfaz de usuario

Es el medio con que el usuario puede comunicarse con un objeto. Mediante la gestión de las experiencias de los usuarios, procesos, preferencias, expectativas y el disfrute de nuevos enfoques, el diseñador de interfaces puede lograr formas adecuadas que permiten que la información que se presenta sea más útil y atractiva para el usuario⁴⁴. La organización internacional de normas (ISO) dictamina que una buena interfaz se caracteriza por ser eficaz, eficiente y satisfactoria (ISO 1998).

Una interfaz la cual realiza su función a través de una pantalla de un dispositivo, se le conoce como interfaz gráfica de usuario GUI (graphic user interface).

3.4.1.1. Herramientas para el diseño de interfaces

El objetivo de todo dispositivo visual es de brindar de manera rápida y eficiente la comprensión de las ideas y hacer que estas ideas sean claras y convincentes.

Para lograr esta meta se usan recursos como:

Tablas, Graficas y Diagramas

Son herramientas que permiten organizar la información y jerarquizarla.

Iconos y señales

Son elementos visuales que ayudan al usuario a localizar y recordar información.

⁴³ A Sears and J A Jacko, *The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications, Third Edition*, Human Factors and Ergonomics, CRC Press, 2002.

⁴⁴ Ibid.

Ilustración 7. Iconos desarrollados por el instituto americano de artes gráficas. Son señales legales de información



Fuente: A Sears and J A Jacko, The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications, 2002.

Ilustraciones y fotografías

Son imágenes complejas creadas por el diseñador con el propósito de otorgar información que sea acogida por el usuario de manera rápida y de fácil entendimiento.

Ilustración 8. Ilustración que tiene como objetivo comunicar el mensaje de “peligro” de la mejor manera posible



Fuente: A Sears and J A Jacko, The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications, 2002.

Tipografía

Es la representación visual del habla y del pensamiento, que permite que una idea se comparta a través del tiempo y la distancia independientemente de su creador. La tipografía es el diseño de los caracteres individuales que componen el alfabeto

y demás simbología necesaria en un texto, siguiendo un estilo visual común. Una tipografía efectiva se caracteriza por su claridad y comprensión.

Ilustración 9. Distintos tipos de tipografías.

Roman	Roman
<i>Italic</i>	<i>Oblique</i>
Bold	Condensed
<i>Bold Italic</i>	<i>Condensed Oblique</i>
Black	Extended
<i>Black Italic</i>	<i>Extended Oblique</i>
Ultra	
<i>Ultra Italic</i>	

Fuente: A Sears and J A Jacko, The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications, 2002.

3.4.1.2. Factores cognoscitivos en HCI

Las herramientas multimedia extienden las capacidades de las GUI, proporcionando un medio más abundante en la representación de la información para el usuario, mediante el uso de imágenes, video, sonido y el habla. Estos aspectos ejercen una influencia sobre la psicología cognitiva del usuario, por ende el diseñador debe tener en cuenta los factores cognitivos a la hora del diseño de una Interfaz⁴⁵.

Percepción y comprensión

Lo que el usuario “ve” depende de su atención y de su conocimiento previo. Los diseñadores de interfaces pueden influir en el usuario mediante técnicas de control de la atención usando herramientas de visualización como el uso de movimientos, altos contrastes e iconos más llamativos. Se debe ser consciente de que la información que una persona reciba depende de su motivación interna, su objetivo y sus conocimientos sobre el tema. Por lo tanto la selección del contenido visual

⁴⁵ Sears and Jacko. Op. cit.

se debe realizar teniendo en cuenta el conocimiento y las tareas del usuario objetivo⁴⁶.

Atención selectiva

Una persona solo puede atender un número limitado de datos a la vez. Las personas son sobresalientes en la integración de la información recibida por los diferentes sentidos, sin embargo existen límites determinados por la psicología del procesamiento de la información humana. Es importante que la interfaz sea diseñada de tal manera que pueda dirigir la secuencia de lectura y visualización del usuario a través de los diferentes segmentos de medios.

Emoción y Excitación

El contenido multimedia visual, puede evocar una respuesta emocional que puede ser usada para promover una experiencia más excitante y atractiva para el usuario.

Aprendizaje y memorización

El aprendizaje es el principal objetivo de una herramienta digital. La idea es que el usuario forme un esquema mental, donde pueda acceder a su memoria y recordar fácilmente las tareas que debe realizar en el software. Las personas aprenden más rápido mediante la resolución de problemas activos o mediante el “hacer”.

3.4.1.3. Prototipos de interfaz gráfica.

Un prototipo es la representación de todas las interacciones que se pretenden brindar en una herramienta digital. Se realizan con el objetivo de ayudar a los desarrolladores a capturar y generar ideas, facilitar la exploración del espacio de diseño y abarcar la toda la información relevante acerca de los usuarios y sus costumbres en el trabajo. Permite una evaluación temprana ya que puede ser probado de varias maneras, incluyendo estudios de usabilidad tradicionales o mediante retroalimentación por parte de los usuarios durante el proceso de diseño.

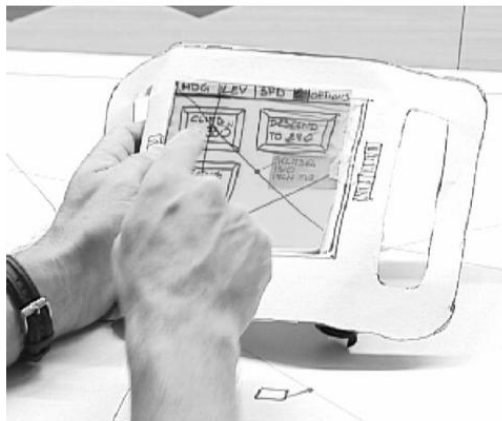
⁴⁶ Sears and Jacko. Op. cit.

Conforme avanza el desarrollo se crean prototipos con mayor nivel de complejidad y con medios cada vez más cercanos al sistema final.

Prototipo rápido

Son los que se realizan en las etapas tempranas del desarrollo, se caracterizan por su bajo costo y de fabricación sencilla. Su objetivo es la rápida exploración de las posibles interacciones y cómo se comportan frente al usuario. Estos prototipos generalmente son creados mediante papel y lápiz o mediante la aplicación de herramientas virtuales desarrolladas con este propósito.

Ilustración 10. Prototipo rápido de papel.



Fuente: A Sears and J A Jacko, The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications, 2002.

Prototipos iterativos

Son desarrollados como una reflexión del proceso, con el objetivo de evolucionar a través de varias iteraciones de diseño. Cada iteración deja al descubierto errores y dificultades de la interfaz, explora diferentes variaciones del tema y se obtiene una percepción global sobre el proceso de diseño.

La iteración comienza con los prototipos rápidos, luego cambian a un nivel mayor de complejidad donde se usan software y dispositivos que puedan emular el

sistema real. Cada iteración tiene su propia prueba de usabilidad y retroalimentación con los usuarios⁴⁷.

Prototipos finales

Es el caso final de los prototipos iterativos, donde el prototipo se desarrolla como parte del sistema final. Se define con el mayor nivel de complejidad y cuyo objetivo es generar una percepción previa del producto final⁴⁸.

⁴⁷ Sears and Jacko. Op. cit.

⁴⁸ Ibid.

4. METODOLOGÍA

Tabla 1. Actividades, procesos y resultados fase 1

Objetivo Especifico	Actividades a realizar	Objetivo de la actividad	Proceso de desarrollo	Resultado
<p>I. Establecer requerimientos de interfaz, mediante la identificación de elementos GUI (del Inglés Graphical User Interface) implementados en herramientas digitales ortopédicas, por medio de revisión de literatura y análisis de contenidos.</p>	<p>I.1 Investigación de los distintos conceptos enmarcados en el contexto de GUIs</p>	<p>Fase I: Observación e investigación</p> <p>Analizar las diferentes propuestas desarrolladas en la literatura, para obtener un punto de partida desde donde diseñar la propuesta de interfaz</p>	<p>Crear ecuación de búsqueda: Con las palabras clave correctas se propone una ecuación que arroje los resultados más adecuados a nuestras necesidades.</p> <p>Revisión de la literatura: Identificar los métodos y recursos en el desarrollo de GUI basados en el contexto de visualización médica.</p>	<p>Listado de métodos de visualización médica.</p>
	<p>I.2 Analizar la información y observar los enfoques en cuestión de visualización médica</p>	<p>Definir aspectos importantes y clasificar los que más se adecuen al proyecto.</p>	<p>Definir aspectos: Documentar todos los aspectos que sean relevantes al estudio</p> <p>Clasificar y jerarquizar: Definir los elementos de mayor a menor relevancia</p> <p>Identificar metodologías: Identificar las metodologías actuales que dan solución a la aplicación de Interfaces de usuario en herramientas digitales</p>	<p>Seleccionar los elementos de GUI fundamentales para la visualización médica.</p>
	<p>I.3 Búsqueda de necesidades</p>	<p>Identificar las necesidades reales de los usuarios, mediante herramientas de caracterización para lograr que la aplicación las pueda satisfacer</p>	<p>Realizar entrevistas de los usuarios objetivos: en este caso los cirujanos ortopédicos que realizan la planeación preoperatoria para hacer las intervenciones. Estas entrevistas buscan captar todos los datos importantes sobre lo que el usuario realmente necesita.</p> <p>Crear arquetipo: Con los datos anteriores se plantea un personaje ficticio que represente a la mayor parte de los usuarios y poder trabajar en torno a ese arquetipo.</p> <p>Jerarquizar necesidades: De todas las necesidades se identifican las más importantes y las que tienen relación directa con estas, de esta manera poder centrarse en las que son indispensables.</p> <p>Interpretar requerimientos: Una vez jerarquizadas las necesidades se deben interpretar en requerimientos que satisfagan las mencionadas y clasificando en el modelo FURPS.</p>	<p>Documento de especificación de requerimientos (DER)</p>

Tabla 2. Actividades, procesos y resultados fase 2.1

Objetivo Especifico	Actividades a realizar	Objetivo de la actividad	Proceso de desarrollo	Resultado
<p>2. Evaluar las diferentes propuestas de arquitectura de información, durante el desarrollo de la metodología de HCI (Human-computer Interaction). Por medio de comprobación por prototipos.</p>	<p>2.1 Ideación</p>	<p>Definir una estructura de cómo se presentara la información a los usuarios, para contar con una base desde la cual empezar a prototipar.</p>	<p>Recopilar información: Se indagara en el tema teniendo en cuenta a los usuarios objetivos, de esta manera apropiarse de un conocimiento moderado para las posteriores actividades.</p> <p>Cardsorting: Una vez apropiados del tema se recurre a una lluvia de ideas donde generaremos muchos conceptos y posibles funciones de la herramienta digital.</p> <p>Definir una arquitectura de información: Con los datos obtenidos de las actividades previas se diseñara una arquitectura que tenga en cuenta la importancia de las necesidades y en qué orden se deben presentar al usuario.</p> <p>Definir lista de tareas: Generar una secuencia de tareas que debe realizar el usuario de manera rápida e intuitiva para poder navegar por la aplicación y así llegar cómodamente a la información que él solicita.</p>	<p>Arquitectura de información - Definición de flujo de tareas.</p>
	<p>2.2 Diseño de interacción</p>	<p>Determinar las características de la interfaz gráfica que sean más apropiadas para que el usuario pueda desarrollar sus tareas eficientemente</p>	<p>Analizar gestos existentes y asignar los más apropiados: Se realizara una indagación de los gestos utilizados por herramientas digitales, y asignarlos a cada una de las tareas previamente definidas teniendo en cuenta siempre la eficiencia y eficacia de la aplicación. Esta elección estará apoyada mediante el uso de metáforas para lograr una mayor adaptabilidad del usuario.</p> <p>Desarrollar un diagrama de información-acción-interacción: Mediante este diagrama se puede organizar las interacciones que se usaran en las diferentes tareas y que información se le suministrara al usuario para que pueda desarrollarlafas.</p>	<p>Diagrama de Información-acción-interacción.</p>

Tabla 3. Actividades, procesos y resultados fase 2.2

Objetivo Especifico	Actividades a realizar	Objetivo de la actividad	Proceso de desarrollo	Resultado
Fase 2: Propuesta y desarrollo				
<p>2. Evaluar las diferentes propuestas de arquitectura de información, durante el desarrollo de la metodología de HCI (Human-computer Interaction). Por medio de comprobación por prototipos.</p>	<p>2.3 Prototipado y pruebas</p>	<p>Recopilar datos e interpretar como la persona se desenvuelve en todos las pruebas de prototipos, para evolucionar la idea y perfeccionar detalles</p>	<p>Creación de prototipo de papel: Se realizaran 3 prototipos de papel con los cuales se pretende comprobar la "encontrabilidad de la información" (Capacidad del usuario de detectar como realizar su tarea), observar la capacidad de la interfaz para que la persona pueda encontrar todos los datos que requiera.</p> <p>Primer prototipo digital: Con un software especializado en prototipado rápido conocido como Justinmind el cual usando herramientas básicas se puede desarrollar una interfaz gráfica sin necesidad de usar código de programación. Igualmente se realizaran 3 prototipos con los que se evaluará la "arquitectura de la información" organización de tanto de las paginas, como de los medios de navegación.</p> <p>Segundo prototipo digital: Utilizando la plataforma en la cual se desarrollara el proyecto, se plantea en realizar un prototipo digital de bajo nivel de complejidad pero que contenga la mayoría de los aspectos necesarios para comprobar las "interacciones y los gestos". Los prototipos se evaluarán de manera consecutiva (ver Pruebas de usabilidad), implementando siempre una mejora para lograr un nivel aceptable de usabilidad.</p>	<p>Informe de evaluación de prototipos. Definición de la GUI.</p>
<p>3. Determinar el nivel de calidad de la herramienta digital, mediante la evaluación por métricas de usabilidad (Eficiencia, efectividad y satisfacción).</p>	<p>3.1. Desarrollo</p>	<p>Implementar la interfaz de usuario en la herramienta digital</p>	<p>Diseño y elaboración de recursos visuales: Con los resultados de las evaluaciones de prototipos se tendrá un conocimiento sobre los factores que permiten a la interfaz ser eficiente y eficaz. Acorde a esto se realizará una base de datos que contenga todos los recursos visuales necesarios que se necesiten incluir en la herramienta resultante.</p> <p>Diseño del sistema: Se diseñará el sistema general de programación de la aplicación, en este punto se trabaja con los desarrolladores.</p> <p>Desarrollo de la aplicación: Se trabajará en conjunto con un equipo de desarrolladores que crearan la herramienta con todas las características competentes.</p>	<p>Prototipo de herramienta digital</p>

Tabla 4. Actividades, procesos y resultados fase 3

Objetivo Especifico	Actividades a realizar	Objetivo de la actividad	Proceso de desarrollo	Resultado
Fase 3 : Validación				
<p>3. Determinar el nivel de calidad de la herramienta digital, mediante la evaluación por métricas de usabilidad (Eficiencia, efectividad y satisfacción).</p>	<p>3.1 Diseño de pruebas</p>	<p>Tener claros los elementos previos a las pruebas de usabilidad</p>	<p>Desarrollar el plan de la prueba: Se contemplará, un donde, por que, para que y como de la prueba.</p> <p>Seleccionar a los participantes: Se analizará los perfiles de usuarios obtenidos anteriormente, se tendrá en cuenta destreza del participante y su experiencia en el manejo de herramientas digitales</p> <p>Preparar los materiales necesarios: Prototipos de diferentes niveles de complejidad, instrumentos de captación de datos</p>	<p>Documento de Diseño de la Prueba</p>
	<p>3.2 Llevar a cabo las pruebas:</p>	<p>Observar y analizar a los usuarios mediante el desarrollo de las pruebas, para así encontrar errores y llevar a cabo el respectivo arreglo</p>	<p>Llevar a cabo la prueba: De manera totalmente imparcial se le pedirá al usuario que realice las diferentes pruebas que fueron contempladas en el plan.</p> <p>Captación de datos: Con la ayuda de los instrumentos de captación se debe obtener el mayor número de información posible. Aquí se debe tener en cuenta información dada por el usuario como información obtenida mediante observación.</p> <p>Transformación de datos en recomendaciones de diseño: Se realiza un analisis preliminar donde se observa los detalles mas problematicos de la interfaz. Y finalmente se genera un reporte de la prueba.</p>	<p>Informe de resultados de la prueba con usuarios.</p>

5. FASE 1: OBSERVACIÓN E INVESTIGACIÓN

Tabla 5 Proceso de desarrollo de la fase 1 observación e investigación.

Tareas	<ul style="list-style-type: none"> *Crear ecuación de búsqueda *Revisión de literatura en visualización médica 	<ul style="list-style-type: none"> *Definición de aspectos(conceptos) *Clasificar y jerarquizar *Identificar Metodologías 	<ul style="list-style-type: none"> *Realización de entrevistas a los usuarios objetivo *Creación de arquetipos *Jerarquizar necesidades *Interpretar requerimientos
Resultado	Lista de métodos de visualización médica	Elementos GUI para visualización médica	Documento de especificación de requerimientos (DER)

5.1. INVESTIGACIÓN DE LOS DISTINTOS ELEMENTOS ENMARCADOS EN EL CONTEXTO DE GUI

Se realizó una búsqueda de literatura, con el propósito de identificar artículos seminales que tuvieran en su contenido, diferentes conceptos de interfaces graficas aplicados al entorno de visualización médica. Como resultado se obtuvieron una serie de conceptos, que sirven como punto de partida desde donde diseñar la propuesta de interfaz.

5.1.1. Crear ecuación de búsqueda.

Durante el proyecto se realizaron varias búsquedas en la literatura, las cuales se realizaron mediante el método evidenciado en la figura 2.

Figura 2. Esquema de método para la realización de la ecuación de búsqueda



Tema de búsqueda

Elementos de interfaces gráficas enmarcados en el contexto de visualización médica.

- **Nivel y cobertura de la búsqueda**

Se estableció el **Periodo temporal** que debe cubrir la búsqueda, este estudio es de carácter tecnológico por ende los resultados deben ser recientes. Se realizó una selección de rango de años de 4 y debido a la cantidad de información obtenida este rango fue incrementado a 6 años a partir del año 2016.

La Cobertura se refiere al contexto geográfico en la que se centra la investigación (continente, país, autonomía, municipio...). Ligada a esta cuestión está la Lengua de los documentos recuperados⁴⁹. El contexto geográfico seleccionado es nivel **mundial**, y el lenguaje de los documentos **Inglés**.

Tipología documental: Artículos de investigación, libros, ponencias, revistas científicas, legislaciones, Normas, Artículos web (Blogs), Páginas web.

- **Selección de fuentes de información**

El tema de búsqueda se centra en el contexto medicinal, sin embargo también es de carácter informático y de aplicaciones TIC, por ende se seleccionaron las siguientes fuentes de bases de datos debido a su carácter multidisciplinar:

Web of Science y Scopus

- **Ecuación de búsqueda**

Se propusieron dos frases que representaran de la mejor manera la información que se pretende encontrar:

“Interfaces graficas de usuario en visualización médica para intervenciones ortopédicas”

“Conceptos de interacciones hombre computador para visualización en medicina”

De esta frase se aislaron las palabras clave importantes para la búsqueda:

⁴⁹ Universidad Alicante, ‘La Búsqueda de Información Científica’, p. 28.

“Visualización médica, Ortopedia, Intervención quirúrgica, Interfaz de usuario, Interfaz gráfica, interacción hombre computador “

Estos términos se tradujeron al inglés para poder utilizarse en las bases de datos anteriormente mencionadas. Del mismo modo se buscaron sinónimos de las palabras para poder tener un rango más amplio de búsqueda, como resultado obtuvimos los siguientes términos:

“Medical visualization, Orthopedic, Surgery, Graphical user interface, Orthopaedic surgery, Graphical representation, Human interface, Human Computer Interaction, Medicine, CAD, Software, mobile app, method, management.”

La construcción de la ecuación se realizó utilizando estos términos y aplicando conectores boléanos para relacionarlos entre sí.

Ecuación:

TS= (Medical visualization) AND (Surgery) AND (planning)

TS=(((Medical imaging) OR (medical visualization)) AND (methods) AND ((surgical training) OR (planning)) AND (software))

Aplicando la segunda ecuación la cual abarca un mayor campo de conceptos, se obtuvieron **174 artículos**. Para seleccionar los más apropiados se realizó una lectura de resumen donde se eligieron los que mencionaban un concepto de interfaz gráfica en alguna herramienta digital, o presentaran alguna norma basada en la visualización médica. De esta manera se encontraron **28 artículos**. Finalmente mediante lectura de resumen y cuerpo del artículo, se seleccionaron los artículos seminales que generaban un mayor aporte en la construcción de una base conceptual para la herramienta. El resultado fueron **5 artículos** que contenían los conceptos de interfaces graficas que podrían aplicarse a la herramienta en un entorno de visualización médica. El resumen de conceptos puede observarse en la **Tabla 6**.

5.1.2. Revisión de la literatura

De las fuentes de información se identificaron métodos y recursos GUI basados en el contexto de visualización médica. Estos métodos se expresaron en conceptos que serán usados durante la etapa de ideación.

Preim⁵⁰ enuncia la percepción visual como un conjunto de aspectos visuales que afectan las decisiones tomadas en la diagnosis. Menciona 2 aspectos de la percepción las cuales son: la **pre-atención** que se refiere a los objetos reconocidos instantáneamente y la **atención** que se enfoca en los detalles mínimos para interpretación.

Así mismo, Preim⁸ mencionó 3 conceptos específicos para aplicaciones de radiología y cirugía de diferentes autores, estos conceptos son: Proveer **valores predeterminados**: Los valores de ciertos aspectos se deben colocar por defecto en su nivel estándar. **Apoyar el flujo de trabajo clínico**: La diagnosis y planeación de tratamientos cuentan con un flujo de trabajo pre-establecido. Sin importar las diferencias del usuario o del caso clínico particular, el flujo de trabajo debe ser reconocido y entendido correctamente. **Proveer de múltiples vistas y coordenadas**: Para tareas de diagnosis, planeación e intervención asistida, un solo punto de vista no es suficiente. Sin importar si es 2D o 3D, es necesario una selección de las posibles orientaciones para poder observar la anatomía del paciente correctamente.

Existen varias técnicas de interacción que permiten manipular el modelo 3D de la anatomía del paciente, estas técnicas son: **Las tareas de selección** de las que se desprenden la selección por puntos, por regiones y por objetos. **Picking**,

⁵⁰ Bernhard Preim and Charl Botha, 'Chapter 5 - Human-Computer Interaction for Medical Visualization', in *Visual Computing for Medicine (Second Edition)*, ed. by Bernhard Preim and Charl Botha, Second Edi, 2014, pp. 177–225.

termino otorgado a la acción de colocar el dedo en la pantalla o el cursor en la posición de un objeto que se desea seleccionar.

Wei et al (2015)⁵¹ propusieron un proceso de manipulación 3D para visualización de datos médicos. En el proceso enuncian los factores de entrada donde participa usuario que manipula el modelo, las interacciones requeridas y la escena expuesta. Entre las interacciones se destacan los conceptos de **Rotación** similares enunciados por Preim, los cuales son descritos en la **tabla 6**.

Sachsen et al (2014)⁵², plantearon la visualización 3D de la anatomía del paciente posicionado a la derecha de la ventana, debido a la importancia del orden de ejecución de la tarea. Las herramientas deben ser percibidas primero, y posteriormente el resultado final que es la renderización 3D del modelo.

Tabla 6. Resumen búsqueda de literatura

Titulo del artículo	Autor (es)	Conceptos identificados
Visual computing for medicine. Theory, Algorithms, and applications	B. Preim C. Botha(2007)	*Percepción visual: Pre-atención y atención *Principios de visualización medica: Valores predeterminados, flujos de trabajo y multiples vistas *Tareas de selección: Por regiones, puntos y objetos *Rotación: Libre, Carril, Incremental y señal
A software platform for interactive analysis on 3D medical data	C. Wei X. Yongfei Z. Youlei (2015)	Proceso de analisis del sistema e interacciones de datos medicos 3D
Stent graft visualization and planning tool for endovascular surgery using finite element analysis	S.von Sachsen B. Senf O. Burgert J. Meixensberger H.J. Florek F.W. Mohr C.D. Etz (2014)	Posición del modelo 3D y las herramientas de interacción
A fully 3D work context for oral implant planning and simulation	C. Tommaso E. Lamma S. Tommaso (2010)	*Vistas multiples en el contexto 3D *Renderizado intuitivo de texturas que el usuario necesita para el diagnóstico *Herramientas de medición precisas *Utilización de planos anatomicos como medio de referencia visual
Software components for medical image Visualization and Surgical planning	Y.P. Starreveld D.G. Gobbi K. Finnis T.M. Peters (2001)	*Retroalimentación Háptica *Proyección estereoscópica *Presición *Librería de imágenes

⁵¹ C Wei, X Yongfei, and Z Youlei, 'A Software Platform for Interactive Analysis on 3D Medical Data', 2015, 22–24.

⁵² S. von Sachsen and others, 'Stent Graft Visualization and Planning Tool for Endovascular Surgery Using Finite Element Analysis', *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 2014, 617–33.

5.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN Y OBSERVACIÓN DE LOS ENFOQUES EN CUESTIÓN DE VISUALIZACIÓN MÉDICA

Con base en los conceptos obtenidos en el apartado anterior, se definió una clasificación de acuerdo a una serie de aspectos de interfaces gráficas observados en la tabla 7. Posteriormente se realizó una entrevista a personas relacionadas en el tema de estudio, como también una búsqueda de literatura, con el propósito de identificar los flujos de trabajo para los 2 casos de estudio asignados por el grupo INTERFAZ mencionados más adelante.

5.2.1. Definición de conceptos de Interfaz de usuario

Del estudio realizado se documentaron todos los aspectos relevantes a la interfaz de usuario. De estos se obtuvieron los conceptos observados en la Tabla 7, los cuales serán utilizados en torno a la visualización médica.

Tabla 7. Resumen y clasificación de los conceptos obtenidos de la búsqueda.

Factores	Conceptos						
Gestión de Información	Implementación de librerías de imágenes	Aplicación de un Flujo de trabajo familiar	Establecimiento de valores gráficos por defecto				
Visualización	Definición de elementos de Pre-atención	Implementación técnicas de Atención a elementos importantes	Utilización de Vistas múltiples 3D	Visualización de Coordenadas	Aplicación de Proyección estereoscópica	Posicionamiento del modelo 3D en un espacio tridimensional	Colocación de objetos en su estado inicial
Interacción	Utilización de Picking como gesto de interacción						
	Aplicación de Selección por puntos	Aplicación de Selección por regiones	Aplicación de Selección por objeto	Rotación sin restricción	Rotación restringida a Carril esférico	Rotación incremental mediante iconos de control	
Realimentación	Implementación de herramientas Hápticas	Manejo de Alto contraste para elementos de interés	Utilización de Alertas visuales				

5.2.2. Jerarquización

Con base en la información recopilada sobre los conceptos de interfaz gráfica, se estableció el nivel de importancia de cada uno, lo cual se clasificaron en taxativos y deseables, como se observa en la **figura 3**.

Figura 3. Jerarquización de conceptos

	Gestión de información	Visualización	Interacción	Realimentación
Taxativo	Aplicación de un Flujo de trabajo familiar	Implementación técnicas de Atención a elementos importantes	Rotación sin restricción	Utilización de Alertas visuales
	Implementación de librerías de imágenes	Posicionamiento del modelo 3D en un espacio tridimensional	Aplicación de Selección por puntos	Manejo de Alto contraste para elementos de interés
	Establecimiento de valores gráficos por defecto	Utilización de Vistas múltiples 3D	Utilización de Picking como gesto de interacción	
		Definición de elementos de Pre-atención		
Deseable		Colocación de objetos en su estado inicial	Aplicación de Selección por objeto	Implementación de herramientas Hápticas
		Aplicación de Proyección estereoscópica	Aplicación de Selección por regiones	
			Rotación restringida a Carril esférico	
			Rotación incremental mediante iconos de control	
			Rotación incremental mediante iconos de control	

Los conceptos taxativos son un punto de referencia para las diferentes decisiones aplicadas al desarrollo de la interfaz gráfica de la herramienta digital. Los conceptos deseables son un apoyo que pueden aplicarse dependiendo de la necesidad o requerimiento identificado posteriormente.

5.2.3. Identificar metodologías del proceso quirúrgico

Mediante revisión bibliografía y entrevistas, se estableció el proceso de pre-planeación general para 2 intervenciones ortopédicas de rodilla:

Reconstrucción de ligamento Cruzado Anterior

Diseño de PSI para fractura de Meseta tibial

Se realizaron 2 entrevistas no estructurada a los diseñadores del grupo INTERFAZ y a un médico especialista que se encuentran trabajando tanto en el área de implantes que se adaptan a la anatomía del paciente como de reconstrucción de

LCA. El propósito de la entrevista fue identificar las actividades clave en el proceso de pre-planeación y con base a esto se identificaron las siguientes palabras clave:

- Planning
- Preoperative planning
- Virtual planning
- Surgical planning
- Surgical planning protocol
- Customized implants
- Custom implants

Nivel de cobertura: **mundial**, Lenguaje **Inglés**, Base de datos **Web of Science**.

Ecuación de búsqueda:

TS=(((surgical planning) OR (preoperative planning) OR (virtual planning) OR (surgical planning protocol)) AND ((custom implants) OR (customized implants)))

De la búsqueda se obtuvieron **180 artículos**. Mediante lectura de títulos y resúmenes, se seleccionaron los que en su contenido mencionaban un proceso de pre-planeación quirúrgica enmarcado en PSI, de los cuales se obtuvieron a **32 artículos**. El proceso de selección se realizó mediante lectura del cuerpo de los artículos, utilizando un criterio de exclusión se identificaron los artículos que contienen prácticas similares de pre-planeación. Como resultado se identificaron **7 artículos**, como se observa en la tabla 8.

Tabla 8. Resultados búsqueda de literatura sobre proceso pre-planeación psi

Titulo del artículo	Autor (es)	Prácticas identificadas
Computer-Aided orthognathic surgery	Savannah Gelesko. DDS Michael R. Mar (2012)	*Obtención de CT y casos clínicos *Envío vía Email de los datos a un ingeniero software para su renderizado computacional *EL ingeniero del software crea modelos digitales *Se realiza un plan quirúrgico
A prospective single-centre study on patient outcomes following temporomandibular joint replacement using a custome-made Biomet TMJ prothesis	E. Aagaard T. Thygesen (2014)	*Obtención de una tomografía computarizada *Reconstrucción a partir de un conjunto de datos DICOM *Reunión virtual para realizar el diseño del implante y de planeación de la cirugía *Diseño final del implante *Envío del diseño al fabricante
Custom-Made implant for Maxilofacial defects using rapid prototype models	A Arora AN Datarakar RM Borle Anshul Rai DG Adwani (2013)	*Obtención de tomografía computarizada *La imagen DICOM es convertida en STL *Impresión del modelo 3D *La resección de la fractura es planeada y marcada en el modelo *Las placas se adaptan a los lados del modelo para formar los orificios de los tornillos
Virtual surgical planning in craniofacial surgery	H Chim N Wetien S Mardini (2014)	*Obtención de tomografía computarizada *Creación de modelos 3D *Reunión online para realizar la cirugía virtual y plantear el diseño del implante *Diseño 3D virtual de la prótesis Envío del modelo para fabricación
Single stage treatment of ankylosis of the temporomandibular join using patient-specific total joint replacement and virtual surgical planning	J Haq N Patel K Weimer NS Matthews (2014)	*La tomografía computarizada con angiografía de contraste y datos DICOM son enviados a la compañía de modelamiento *Reunión web entre el cirujano y el ingeniero biomédico para realizar la cirugía virtual *Diseño virtual del implante
Surgical navitacion in cranio-maxillofacial surgery: an evaluation on a child with a cranio-facio-orbital tumour	HT Lubbers C Jacobsen D Konu F Matthews KW Gratz JA Obweqeser (2011)	*Importación y fusión de todos los conjuntos de datos tridimensionales *Delineado del margen del tumor *Desarrollo de una plantilla virtual mediante la segmentación y replicación del lado sano
Computer-Assisted surgical simulation for concomitant temporomandibular joint custom-fitted total joint reconstruction and orthignathic surgery	Larry M. Wollford (2016)	*Tomografía computarizada *Procesamiento de imágenes digitales *Corrección de la deformidad en una cirugía simulada por computador *Diseño y modelado de la prótesis *Evaluación y aprobación del modelo por parte del cirujano usando internet *Fabricación de la prótesis *Modelos, férulas y las impresiones de la cirugía simulada por ordenador son enviadas al cirujano

Las prácticas comunes entre los artículos seleccionados se resumen en: Obtención de imágenes diagnosticas- Reconstrucción 3D de la anatomía del paciente- Diseño del implante- Validación- fabricación. Estos artículos no tienen en cuenta los aspectos de gestión de datos, diagnostico preliminar o captación del paciente.

Se generaron los flujos de trabajo para los 2 casos, utilizando las entrevistas y los hallazgos en la búsqueda de literatura.

Flujo de trabajo reconstrucción de ligamento cruzado anterior

Figura 4. Esquema de flujo de trabajo para cirugía de reconstrucción LCA



Registro: Captación del paciente, en este punto se revisa historial clínico, examen físico, motivo de la consulta.

Diagnostico preliminar: Se revisa la enfermedad actual, la condición de la articulación, estado de los cartílagos, estado de ligamentos tanto anterior como posterior. Otros factores como la cadera, el nivel de masa muscular y las actividades que realiza el paciente son necesarios para preparar si se envía, o no, a quirófano.

Exámenes: Se solicitan los respectivos exámenes, los cuales pueden ser radiografías, tomografías o resonancias magnéticas.

Diagnóstico: Se valora y se revisan las condiciones del paciente para cirugía, se toman decisiones con respecto al abordaje y se decide la secuencia de pasos que se van a realizar en la intervención.

Preparación de la cirugía: Se toman decisiones con respecto a diámetros de túnel, localización del injerto para reemplazar el ligamento, longitud y diámetros de tornillos.

Flujo de trabajo fractura de meseta tibial que requiere de implante personalizado

Figura 5. Esquema de resumen del flujo de trabajo en el proceso de pre-planeación psi



Diagnóstico: Se decide el abordaje quirúrgico mediante la selección del tipo de fractura, esta clasificación se realiza en base a la AO fundation⁵³. Posteriormente se envía los archivos necesarios para el diseño del implante.

Diseño del implante: El diseñador o casa matriz realiza el diseño del implante y prepara una presentación para el medico ortopedista.

Validación: Se realizan reuniones virtuales o presenciales donde se valida el implante y se decide si está listo para construcción y envío.

Manufactura: Fabricación del implante hecho a la medida.

Simulación: Con el implante y un equipo instrumental se realiza una simulación de la cirugía donde se comprueban dimensiones y posibles percances que se obtendrán en la intervención.

Los datos de la pre-planeación como archivos o texto se transfieren entre miembros del equipo mediante correos electrónicos y servicios web de alojamiento de archivos.

⁵³ AO members, 'AO Foundation', 2008. Disponible em: <<https://www.aofoundation.org>>.

Los dispositivos electrónicos que utilizan con más frecuencia son **Smarphones, Computadores portátiles, computadores de escritorio, tablets ipad y tablets Android**. Las tareas que más realizan en estos dispositivos se dividen en trabajo, correos electrónicos, ocio.

5.3. BÚSQUEDA DE NECESIDADES Y ESTABLECIMIENTO DE REQUERIMIENTOS

En esta etapa del proyecto se realizaron entrevistas a los usuarios con el propósito de caracterizarlos con la herramienta “personas”, posteriormente se generó una lista de necesidades que finalmente se interpretaron en requerimientos de diseño.

5.3.1. Realización de entrevistas a los usuarios objetivo.

Los usuarios objetivo para el proceso de pre-planeación quirúrgica son médicos cirujanos ortopedistas y diseñadores industriales que trabajan en PSI. Estos usuarios se identificaron durante el proceso de investigación de literatura en el marco teórico.

Tamaño de la muestra: 7 Personas.

Las personas entrevistadas fueron 4 médicos especialistas y 3 Diseñadores que trabajan con ortopedistas cuya labor es realizar un acompañamiento durante el proceso de diseño de PSI. En las entrevistas se indagó sobre el proceso que se realiza durante la pre-planeación. El formato de entrevistas puede observarse en el **Anexo A**.

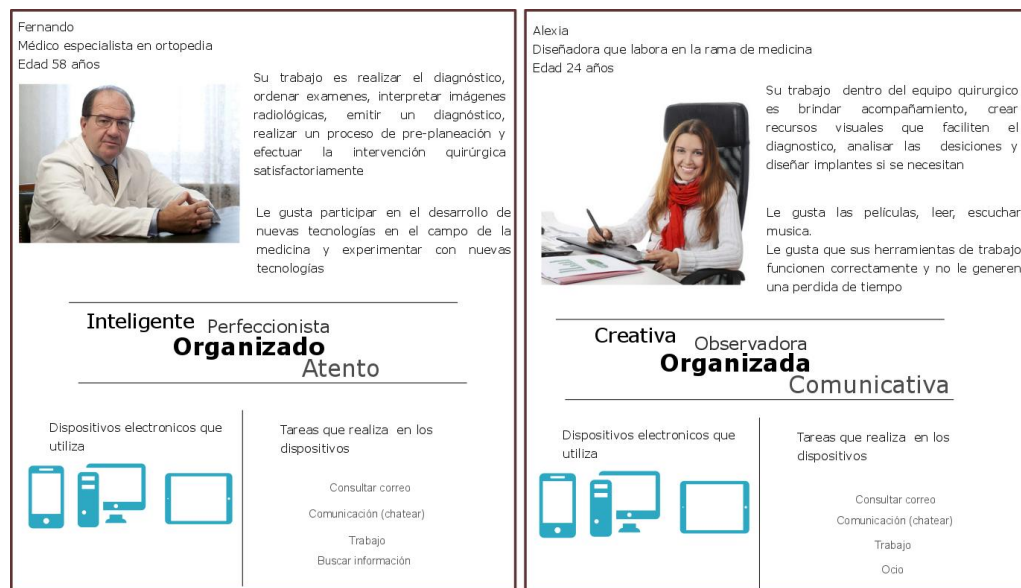
5.3.2. Creación de arquetipos de usuario.

Los arquetipos son “personas” ficticias que representan los diferentes tipos de usuario objetivo. Son una herramienta muy útil en el diseño de la interfaz por que

dan una cara humana a la creación de la experiencia de usuario y sirven como guía de diseño⁵⁴.

Para obtener información de los usuarios se realizó una búsqueda de estadísticas colombianas sobre el número de médicos especialistas en ortopedia y traumatología. Según el ministerio de salud cada año se gradúan en promedio 40 médicos especialistas en ortopedia⁵⁵. A partir de estos datos, las entrevistas realizadas a los usuarios objetivo, y la observación de usuarios, se elaboraron 2 arquetipos de usuario. Ver figura 6.

Figura 6. Arquetipos de los 2 usuarios



⁵⁴ John Pruitt and Tamara Adlin, 'Putting Personas to Work', in *Human Computer Interaction Handbook*, Human Factors and Ergonomics, 2012, pp. 1055–80.

⁵⁵ Ministerio de Salud y Protección Social, 'Oferta Y Demanda Del Recurso Médico En Colombia', *Boletín Electrónico Para Los Actores Del Sistema De Salud En Colombia No.*, 2013, 2–4.

5.3.3. Jerarquizar necesidades

A partir de las entrevistas, y de la revisión de la literatura se ha recolectado una lista de necesidades. El proceso de jerarquización se realizó en torno a la siguiente metodología⁵⁶:

- Interpretar los datos en términos de las necesidades de clientes.
- Organizar las necesidades en una jerarquía de necesidades primarias, secundarias y, de ser necesario, terciarias.
- Establecer la importancia relativa de las necesidades.

5.3.3.1. *Interpretación y jerarquización de datos en términos de las necesidades del cliente*

Con base a las entrevistas y la literatura investigada previamente se interpretó una lista de necesidades. Posteriormente se agruparon las necesidades de acuerdo a sus similitudes. De cada grupo se escogió una necesidad que generalizara todas las necesidades de la agrupación, en el caso de que ninguna tarjeta cumpla con este requisito, al grupo en cuestión se le creó un nombre que los represente esta clasificación puede observarse en la tabla 9.

Establecer la importancia relativa de las necesidades

A cada necesidad se le asignó un nivel de importancia con el propósito de determinar cuáles son taxativas para la herramienta, esta elección se realizó con base al cumplimiento del flujo de pre-planeación ya establecido. Se denominó una escala de 1 a 5 donde 5 se refiere a las necesidades taxativas y los demás son rangos de necesidades deseables. Ver tabla 9.

⁵⁶ Karl Ulrich and Steven Eppinger, *Diseño Y Desarrollo de Productos*, McGraw Hill, 2013.

Tabla 9. Clasificación de necesidades, importancia de las necesidades e interpretación de requerimientos

No.	Necesidad	Impor	Requerimiento
1	La Herramienta Maneja una estructura dinámica		-La herramienta mantendra su estructura al actualizarse -Se adapta a diferentes tamaños de pantalla
2	La Herramienta Es compatible con diferentes plataformas	**	-Permite el manejo de interacciones multiplataforma
3	La Herramienta Mantiene un flujo ordenado y estructurado	***	-Conserva un flujo de trabajo mediante secuencia de pasos
4	La Herramienta ayuda al usuario en el proceso de pre-planeación		-Brinda imagenes que ayudan al usuario a identificar en que etapa se encuentra
5	La Herramienta tiene una interfaz clara, sencilla y accesible	***	-Los mensajes son reconocibles y comprensibles -Resalta la información mas importante
6	La Herramienta sigue un flujo de trabajo pre-establecido	****	-El flujo de trabajo es compatible con los procesos de intervenciones (LCA, PSI)
7	La Herramienta permite elaborar un proceso diagnostico	***	-Da información y orienta al usuario en selección de patologías -Da información y orienta al usuario en la selección de tratamientos pre-establecidos
8	La Herramienta permite el flujo de datos entre usuarios		-Presenta información escrita por los demas roles del grupo de trabajo
9	Permite compartir información entre usuarios	***	-Permite la diferenciación de información escrita por otros usuarios
10	La Herramienta permite el intercambio de archivos	****	-Cuenta con una interacción que permite la identificación del apartado de carga de archivos -Brinda información que identifica el apartado donde se descargan archivos
11	La Herramienta permite ver archivos 3D		-Permite observar la anatomía 3D del paciente -Es compatible con formatos de archivos 3D estandar
12	La Herramienta permite ver imágenes diagnosticas	****	-Permite observar imágenes diagnosticas
13	La Herramienta permite interacción 3D	****	-Permite interacciones de visualización 3D
14	La Herramienta permite interacción 2D	***	-Permite interacciones de visualización 2D
15	La Herramienta permite la manipulación de visualizaciones 3D	***	-Cuenta con elementos visuales que permiten la adición de objetos (marcadores) a la escena 3D -Contiene iconos que refieren a la manipulación de los objetos añadidos (marcadores)
16	La Herramienta permite escribir o agregar información extra		-Campos de digitación de información reconocibles y accesibles
17	La Herramienta permite escribir y guardar los instrumentos de la cirugía	***	-Cuenta con un apartado específico para agregar instrumental de la intervención
18	La Herramienta permite escribir y guardar el abordaje quirúrgico	***	-Cuenta con un apartado específico para agregar el abordaje quirúrgico
19	La Herramienta guarda toda la información en la nube	****	-Cuenta con un servidor que almacena la información
20	La Herramienta facilita la gestión del proceso		-Administra la información del caso clinico
21	La Herramienta mantiene la intimidad del paciente	***	-Posee sistema de usuario y contraseña -No revela información a personas que no cuenten con un usuario registrado
22	La Herramienta gestiona los roles de trabajo	***	-Maneja diferentes areas de proceso dependiendo de cada rol
23	Cada rol tiene su propia configuración	***	-Se configura estructuralmente dependiendo del flujo del rol y del caso clinico
24	La Herramienta permite la comunicación entre diseñador y doctor	****	-Cuenta con un apartado donde puede enviar comentarios -Los usuarios pueden ver los comentarios del grupo de trabajo
25	La Herramienta restringe la información dependiendo del rol	**	-Filtra la información dependiendo de cada rol
26	La Herramienta Organiza categoriza y sintetiza la información		-Brinda la información necesaria para realizar una tarea -Organiza la información dependiendo de las etapas de pre-planeación
27	La Herramienta muestra la información del paciente	****	-Permite visualizar datos del paciente
28	La Herramienta brinda un reporte final	***	-Organiza todas las decisiones tomadas y la información registrada en un documento
29	La Herramienta Brinda maneras de contacto con los desarrolladores	*	-Presenta información de contacto con los desarrolladores

5.3.4. Interpretar requerimientos

A cada necesidad se le realizo una interpretación en forma de requerimiento. De tal manera que esta pueda ser comprobada objetivamente. Ver tabla 9. Los requerimientos se interpretaron mediante el modelo FURPS+⁵⁷, el cual es un modelo de calidad que establece un grupo de características como factores de

⁵⁷ Robert B Grady, 'Measuring and Managing Software Maintenance', *IEEE Software*, 1987, 35–45.

calidad. Como resultado final se obtuvo un compendio de requerimientos clasificados, los cuales pueden observarse en la tabla 10.

Tabla 10. Clasificación FURPS de los requerimientos de diseño

Requerimiento	Especificación
Requerimientos Funcionales (Functionality)	
La herramienta mantiene su estructura al actualizarse	
Se adapta a diferentes tamaños de pantalla	Resolución mínima 450X720
Da información y orienta al usuario en la selección de patologías	Información de la AO foundation
Da información y orienta al usuario en la selección de tratamientos pre-establecidos	Información de la AO foundation
Presenta información escrita por los demás roles del grupo de trabajo	
Cuenta con un apoyo visual que permite la identificación del apartado de carga de archivos	
Brinda información que identifica el apartado donde se descargan archivos	
Permite observar la anatomía 3D del paciente	Visualización del modelo OBJ
Es compatible con formatos de archivos 3D estandar	Formato compatible OBJ
Permite observar imágenes diagnosticas	Visualización de imágenes jpg y png
Cuenta con elementos visuales que permiten la adición de objetos (marcadores) a la escena 3D	Marcadores, Señalizadores.
Campos de digitación de información reconocibles y accesibles	
Cuenta con un apartado específico para agregar instrumental de la intervención	
Cuenta con un apartado específico para agregar el abordaje quirúrgico	
Cuenta con un apartado donde puede enviar comentarios	Caja de escritura
Los usuarios pueden ver los comentarios del grupo de trabajo	Texto generado por el comentario
Permite visualizar datos del paciente	Caso clínico, Enfermedad actual, Patología, examen físico
Organiza todas las decisiones tomadas y la información registrada en un documento	Formato del documento: PDF
Requerimientos Usabilidad (Usability)	
Permite el manejo de interacciones multiplataforma	Táctil, Teclado
Conserva un flujo de trabajo mediante secuencia de pasos	Ordenados de acuerdo al proceso de pre-planeación
Brinda apoyo visual que ayudan al usuario a identificar en que etapa se encuentra	Retroalimentación visual y con texto de ayuda
Los mensajes son reconocibles y comprensibles	Contraste fondo texto: Fondo claro texto oscuro, Fondo oscuro texto claro
Permite la diferenciación de información escrita por otros usuarios	Colores diferentes dependiendo del autor del comentario
Resalta la información mas importante	Tamaño de letra mas grande o con estilo diferente
Permite interacciones de visualización 3D	Rotación, Traslación, Escalamiento
Permite interacciones de visualización 2D	Traslación, Escalamiento
Contiene iconos que refieren a la manipulación de los objetos añadidos (marcadores)	Añadir objetos, seleccionarlos, eliminarlos
Requerimientos de Fiabilidad (Reliability)	
Brinda apoyo visual que ayudan al usuario a identificar en que etapa se encuentra	Interacciones de avance y retroceso entre las diferentes fases de la pre-planeación
El flujo de trabajo es compatible con los procesos de intervenciones (LCA, PSI)	Flujos de pre-planeación PSI y LCA
No revela información a personas que no cuenten con un usuario registrado	Se necesita usuario y contraseña para ingresar y ver información
Posee sistema de usuario y contraseña	
Maneja diferentes areas de proceso dependiendo de cada rol	
Requerimientos de Rendimiento (Performance)	
Administra la información del caso clínico	
Filtra la información dependiendo de su usuario	
Cuenta con una base de datos que almacena los archivos del caso-clínico	
Requerimientos de Soporte (Supportability)	
Se configura estructuralmente dependiendo del flujo del rol y del caso clínico	Estructura para Ortopedista en caso PSI, Ortopedista en caso LCA y para diseñador
Brinda la información necesaria para realizar una tarea	Texto de ayuda, indicaciones donde debe realizar acciones
Organiza la información dependiendo de las etapas de pre-planeación	Etapas para las intervenciones de LCA como de PSI
Presenta información de contacto con los desarrolladores	Correo electrónico, Teléfonos, Localizaciones

6. FASE 2 PROPUESTA Y DESARROLLO

Tabla 11. Esquema de proceso de la fase 2: propuesta y desarrollo

Tareas	<ul style="list-style-type: none"> *Recopilar información *Cardsorting cerrado *Definir una arquitectura de información *Definir lista de tareas 	<ul style="list-style-type: none"> *Análisis de gestos y agregar los apropiados *Desarrollar un diagrama de información-Acción-interacción 	<ul style="list-style-type: none"> *Crear prototipo de papel *Primer prototipo digital *Segundo prototipo digital 	<ul style="list-style-type: none"> *Diseño y elaboración de recursos visuales *Diseño del sistema *Desarrollo de la aplicación
Resultado	<ul style="list-style-type: none"> *Arquitectura de información *Definición de flujo de tareas 	<ul style="list-style-type: none"> Diagrama de información-acción-interacción 	<ul style="list-style-type: none"> *Informe de evaluación de prototipos *Definición de GUI 	<ul style="list-style-type: none"> Prototipo de la herramienta digital

6.1. IDEACIÓN

6.1.1. Recopilar información

Con base a las entrevistas realizadas y recopilación de la literatura, se realizó un resumen del tema en los 2 casos de intervenciones quirúrgicas de rodilla: Fractura de platillo tibial, el cual representa la intervención mediante PSI. Y Reconstrucción del ligamento cruzado anterior. Como resultado se obtuvieron conceptos y procedimientos importantes que pueden ser de ayuda al momento del desarrollo de la herramienta digital. Los conceptos fueron resumidos y se consignaron los más relevantes para la investigación.

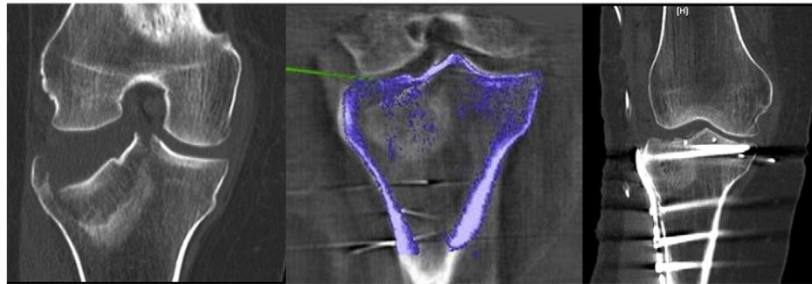
6.1.1.1. Fractura de platillos tibiales (Ejemplo de caso de implantes hechos a la medida PSI)

Son fracturas en la tibia proximal que envuelven la superficie articular. Por lo tanto requieren de una precisa reconstrucción del platillo tibial y una restauración de las uniones cinemáticas y alineaciones.

Una reducción anatómica de este tipo de fractura requiere un conocimiento exacto de la anatomía, biomecánica y preciso análisis de la fractura. El tratamiento que se

realiza en este caso es mediante una reducción abierta con fijación interna. Para la fijación del platillo en el hueso es necesario la utilización de refuerzos de titanio hechos a la medida del paciente (PSI patient specific implant). Por ende se deben colocar tornillos en el refuerzo a distancias denotadas en una pre-planeación previa⁵⁸.

Figura 7. Etapas del proceso del tratamiento de una fractura de platillo tibial



Fuente: Citak and others, "Navigated reconstruction of a tibial plateau compression fracture post-virtual reconstruction. A case report", Knee, 2011.

Concepto obtenido: Marcación de posiciones como puntos importantes sobre la anatomía del paciente, en el caso de la fractura de platillo tibial es representado mediante las posiciones de los tornillos que van incrustados en el hueso.

6.1.1.2. Proceso de pre-planeación de implantes hechos a la medida

Cada fase del proyecto tiene una entrada y una salida. Estas pueden ser información en texto o archivos. La herramienta debe poder brindar una gestión de estos datos por ende se realizó una compilación descrita en la tabla 12 que representara las entradas y salidas de cada fase.

⁵⁸ Citak and others, "Navigated reconstruction of a tibial plateau compression fracture post-virtual reconstruction. A case report", Knee, 2011.

Tabla 12. Entradas, usuarios y salidas del proceso de pre-planeación psi

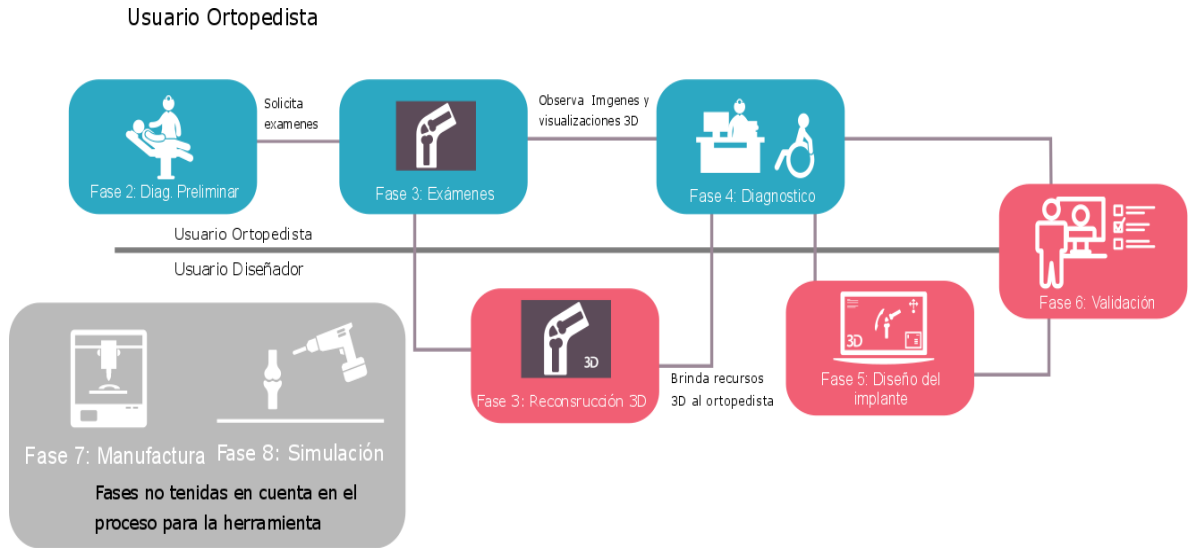
Entradas	Fase	Resultados
Paciente	Fase 1: Recepción del paciente Usuario: Auxiliar	Datos del paciente Enfermedad actual
Datos del paciente Enfermedad actual	Fase 2: Diagnóstico preliminar Usuario: Ortopedista	Diagnóstico preliminar Especificaciones de exámenes
Diagnóstico preliminar Especificaciones	Fase 3: Exámenes (TAC, MRI) Usuario: Ortopedista, Radiólogo	Imágenes DICOM Concepto del radiólogo
Diagnóstico preliminar Concepto del radiólogo	Fase 4: Diagnóstico Usuario: Ortopedista	Archivos Digitales (Formato.Stl DICOM) Diagnóstico Resumen del procedimiento
Resumen del procedimiento Recursos digitales	Fase 5: Diseño del implante Usuario: Diseñador	Propuesta(Videos, Imágenes, PDF)
Resumen del procedimiento Propuesta Modelo 3D	Fase 6: Validación Usuario: Diseñador, Ortopedista	Especificaciones de equipos e instrumental Modelo 3D del implante
Resumen del procedimiento Imágenes (DICOM) Modelo 3D del implante	Fase 7: Manufactura Usuario: Fabricante	Implantes
Resumen del procedimiento Implantes Modelo 3D impreso	Fase 8: simulación Usuario: Ortopedista, Diseñador, Instrumentador	Resumen final del procedimiento

Flujo de trabajo de implante personalizado según cada usuario (Ortopedista/ Diseñador)

Para el desarrollo de la herramienta digital se abarcó las actividades del proceso de pre-planeación que van desde el diagnóstico preliminar hasta la validación.

La grafica muestra un paralelo entre las fases que pertenecen al proceso del ortopedista y las fases que pertenecen al proceso del diseñador.

Figura 8. Esquema de fases del proceso en torno a los 2 usuarios



6.1.1.3. Reconstrucción de ligamento cruzado anterior

La reconstrucción del ligamento cruzado anterior de un solo haz, es la intervención quirúrgica más común para lesiones del ligamento cruzado anterior, acompañadas de dolor, deterioro funcional e inestabilidad articular, no obstante su eficiencia se ha demostrado en variedad de estudios⁵⁹.

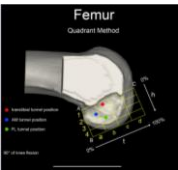
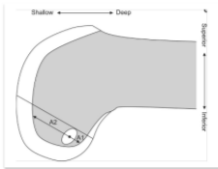
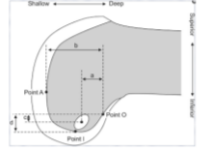
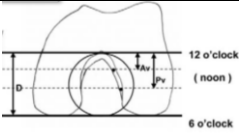
Durante las entrevistas al médico Ortopedista especialista en LCA, se ha captado información relevante de como realiza el tratamiento para esta intervención quirúrgica. Uno de estos datos es la manera de selección de la ubicación de portales en los túneles que se van a perforar para colocar el injerto de cartílago, esta selección se podrá realizar antes de entrar al quirófano durante el proceso e pre-planeación.

⁵⁹ Kwang Won Lee and others, 'Anatomic Single Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction by Low Accessory Anteromedial Portal Technique: An In Vivo 3D CT Study.', *Knee Surgery & Related Research*, 2014, 97–105.

Métodos de ubicación de túneles en reconstrucción de ligamento cruzado anterior

Entorno a la información suministrada se realizó una búsqueda de técnicas de posicionamiento de túneles para LCA, con el fin de encontrar un método que pueda ser reproducido como un visualizador de ayuda para la pre-planeación. En la tabla 13 se puede observar los métodos de ubicación para túnel femoral.

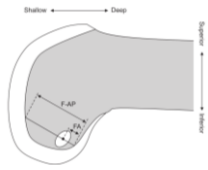
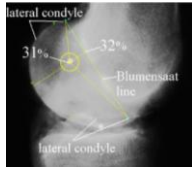
Tabla 13. Métodos de marcación de puntos para el túnel femoral

Método	Grafica
<p>Método del cuadrante: Método del cuadrante (50:50): Método por el cual se dibuja un cuadro a partir de la línea de blumensaar hasta los puntos más externos del hueso.⁶⁰</p>	
<p>Método de Mochizuki: El punto central del túnel es calculado como $A1/(A1+A2)$ como se muestra en la gráfica¹⁷.</p>	
<p>Método de Watanabe: Se calcula observando el margen formado por la superficie articular, donde se posicionan 3 puntos (A, I, O) donde a partir de estas distancias se obtienen la posición de la entrada del túnel¹⁷.</p>	
<p>Sistema del reloj: Se dibuja un círculo en la escotadura intercondilea y la ubicación del LCA se sitúa entre las 8 y las 10 h en una rodilla derecha⁶¹.</p>	

¹⁷Lee and others, 'Anatomic Single Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction by Low Accessory Anteromedial Portal Technique: An In Vivo 3D CT Study.', *Knee surgery & related research*, 2014.


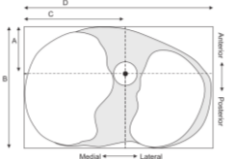
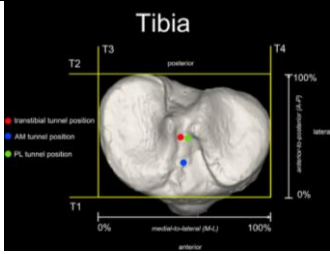
⁶⁰ Sebastian Kopf and others, 'Nonanatomic Tunnel Position in Traditional Transtibial Single-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Evaluated by Three-Dimensional Computed Tomography.', *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 2010, 1427–31.

⁶¹ Tomoyuki Mochizuki and others, 'Cadaveric Knee Observation Study for Describing Anatomic Femoral Tunnel Placement for Two-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction', *Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 2006, 356–61.

<p>Método de takahashi: Se define FA como la distancia entre el punto central del túnel y el margen profundo de la superficie articular del cóndilo femoral lateral y F-AP como la distancia entre el margen superficial y el margen profundo del cóndilo femoral lateral¹⁷.</p>	
<p>Método del triángulo: centro del túnel deberá estar situado a 32 % de la línea antero-posterior y a 31 % sobre la línea perpendicular a este punto T⁶²</p>	

En la tabla 14 se puede observar los métodos de ubicación de túnel tibial

Tabla 14. Métodos de marcación de puntos para el túnel tibial

Método	Grafica
<p>Guía de Howell: Guía tibial para posicionar anatómicamente el túnel femoral a través del tunen tibial⁶³</p>	
<p>Método de Tsukada: A partir de un cuadro superpuesto al contorno de la tibia se calcula las posiciones de los puntos⁶⁴.</p>	
<p>Método de Forsythe et al: Se dibuja una línea (T1) que pasa por el borde anterior de la meseta tibial, además se forma otra línea (T2) la cual es ubicada en la frontera más posterior de la meseta tibial, otra línea (T3) se dibuja a través de la frontera medial de la meseta tibial y por último se dibuja una línea (T4) la cual se ubica en el borde lateral de la meseta tibial⁶⁵.</p>	

⁶² Duncan E Meuffels and others, 'Visualization of Postoperative Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Bone Tunnels Reliability of Standard Radiographs , CT Scans , and 3D Virtual Reality Images', 2011, 699–703.

⁶³ Pierluigi Cuomo and others, 'validation of the 65 ° howell guide for anterior cruciate ligament reconstruction', 2006, 70–75.

⁶⁴ Lee and others, ' Anatomic Single Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction by Low Accessory Anteromedial Portal Technique: An In Vivo 3D CT Study. ', Knee surgery & related research, 2014.

⁶⁵ Sebastian Kopf and others, 'Nonanatomic Tunnel Position in Traditional Transtibial Single-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Evaluated by Three-Dimensional Computed Tomography.', *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 2010, 1427–31.

Método de Morgan: La guía(Arthrex Inc,Naples,FL; Morgan CD,US.Patent No 5,269,786) es usada para determinar el ángulo y la longitud del túnel



Para verificar cual método es reconocido con mayor frecuencia por los ortopedistas, se realizó una encuesta vía web donde se exponían cada uno de los métodos investigados. El propósito de la encuesta fue la de identificar los métodos de marcación túneles familiares para los médicos ortopedistas, y aplicar el método en la herramienta digital. **(Ver anexo E).**

El tamaño de la muestra fue de 4 Médicos ortopedistas. En la figura 9 se puede observar que los métodos de ubicación de túneles femoral, más conocidos por los médicos especialistas son el sistema del reloj, y el método del cuadrante.

Se puede observar en la figura 10 que las técnicas conocidas para el túnel tibial son variadas, y no hay una concordancia entre las opiniones de los 4 ortopedistas encuestados. Esto se debe a la diferencia de edades y experiencia. No obstante debido a que los métodos seleccionados más conocidos utilizan herramientas externas, se optó por utilizar el método de Tsukada, el cual se realiza gráficamente.

Figura 9. Resultados selección fémur

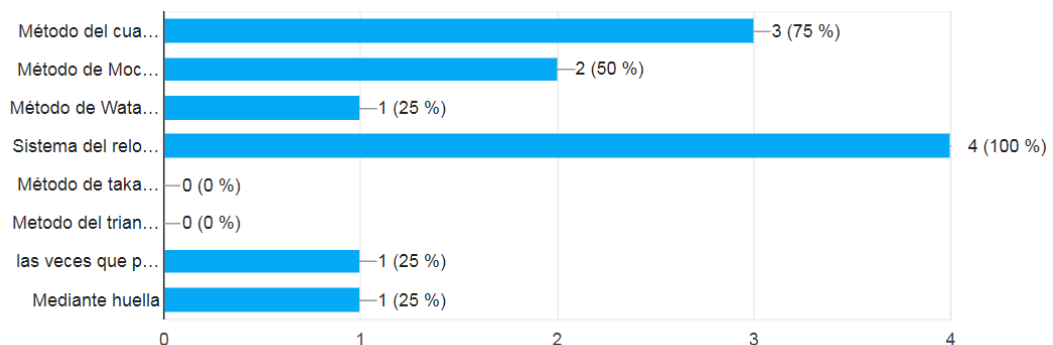


Figura 10. Resultados selección tibia

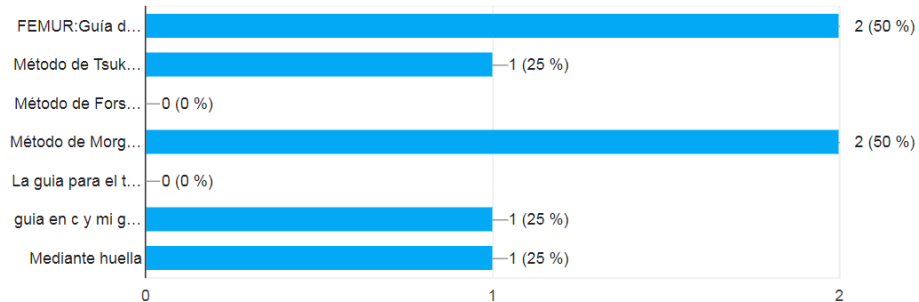


Figura 11. Realización de la encuesta



Métodos seleccionados para el visualizador 3D de ubicación de túneles para reconstrucción de LCA

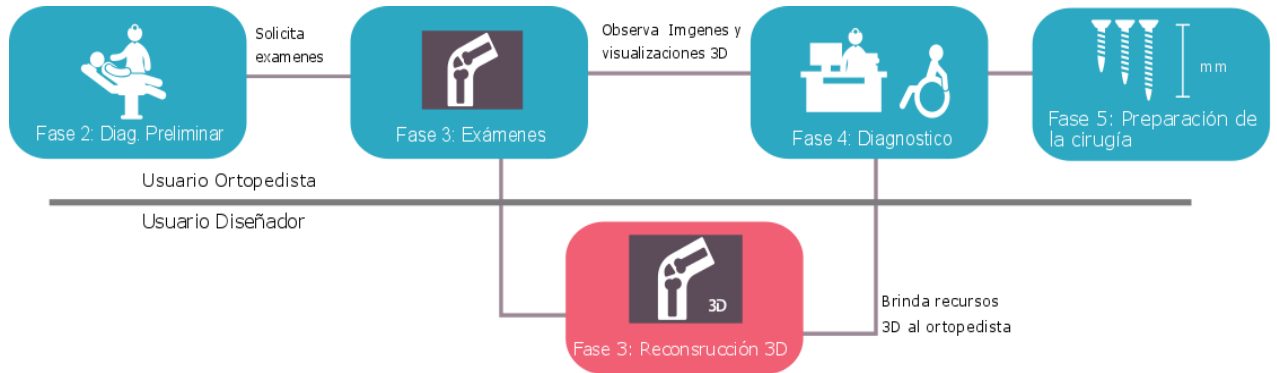
Técnicas fémur: Técnica del reloj, y método del cuadrante

Técnica tibia: Método de Tsukada

Flujo de trabajo para reconstrucción de ligamento cruzado anterior (Ortopedista/ Diseñador)

Las fases para el proceso de pre-planeación LCA no difieren mucho de la del PSI, la diferencia radica en la intervención del usuario diseñador. En LCA no se necesita ningún material o dispositivo diseñado, los instrumentos estándar son efectivos en este tipo de intervenciones.

Figura 12. Esquema de pre-planeación reconstrucción de Ica



6.1.2. Cardsorting

Teniendo una recopilación clara de información de los diversos temas que competen al proyecto y una definición de requerimientos, se propuso realizar un método de ideación llamado cardsorting.

La técnica de 'cardsorting' se basa en la observación de cómo los usuarios agrupan y asocian entre sí un número predeterminado de tarjetas etiquetadas con las diferentes categorías temáticas. De esta forma partiendo del comportamiento de los usuarios es posible organizar y clasificar la información de acuerdo a su modelo mental.

Para esta etapa se aplicó un cardsorting de tipo cerrado, el cual los grupos están predefinidos y etiquetados⁶⁶, debido a que el proceso de pre-planeación cuenta con etapas ya caracterizadas.

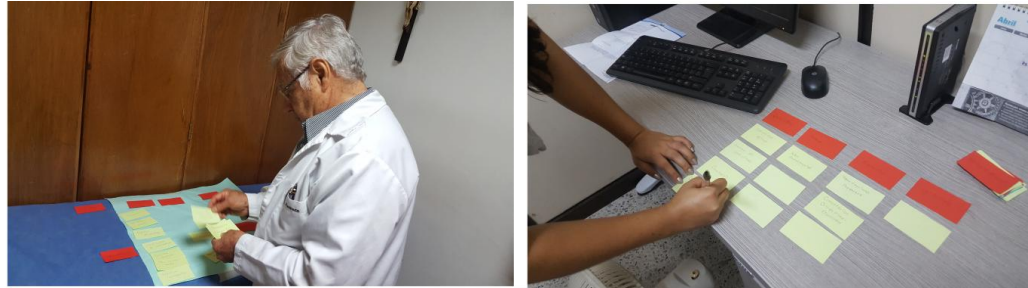
Figura 13. Esquema resumen de metodología cardsorting



⁶⁶ Yusef Hassan Montero and others, 'Arquitectura de La Información En Los Entornos Virtuales de Aprendizaje. Aplicación de La Técnica Card Sorting Y Análisis Cuantitativo de Los Resultados', *El Profesional de La Información*, 2004, 93–99.

Se elaboraron un total de 18 tarjetas que representan los apartados correspondientes como contenido de la herramienta digital.

Figura 14. Realización del cardsorting con diferentes usuarios



Posteriormente se elaboraron otro grupo de tarjetas, los cuales representan las categorías donde se van a asociar las tarjetas del contenido.

Antes de ejecutar las pruebas se realizó una organización estimada utilizando los conceptos sobre el flujo de trabajo tanto de PSI como LCA y los requerimientos establecidos. Estos se resumieron y ubicaron en 4 categorías observadas en la figura 15, con el fin de identificar la familiaridad de los usuarios con el flujo de trabajo ya establecido.

Figura 15. Tarjetas y Organización preliminar basado en la literatura

Caso clínico	Solicitudes de exámenes	Diagnóstico	Validación
Nombre del caso	Solicitar exámenes	Clasificación de enfermedad	Crear propuesta de diseño
Enfermedad actual	Descargar archivos tomográficos	Registrar diagnóstico	Comentarios ortopedista diseñador
Anamnesis	Visualizar radiografías	Modificar diagnóstico	Reporte
Información del paciente		Visualización modelo 3D	
		Posicionamiento de marcas PSI	
		Especificaciones abordaje	
		Posicionamiento de túneles LCA	

Pruebas del cardsorting cerrado

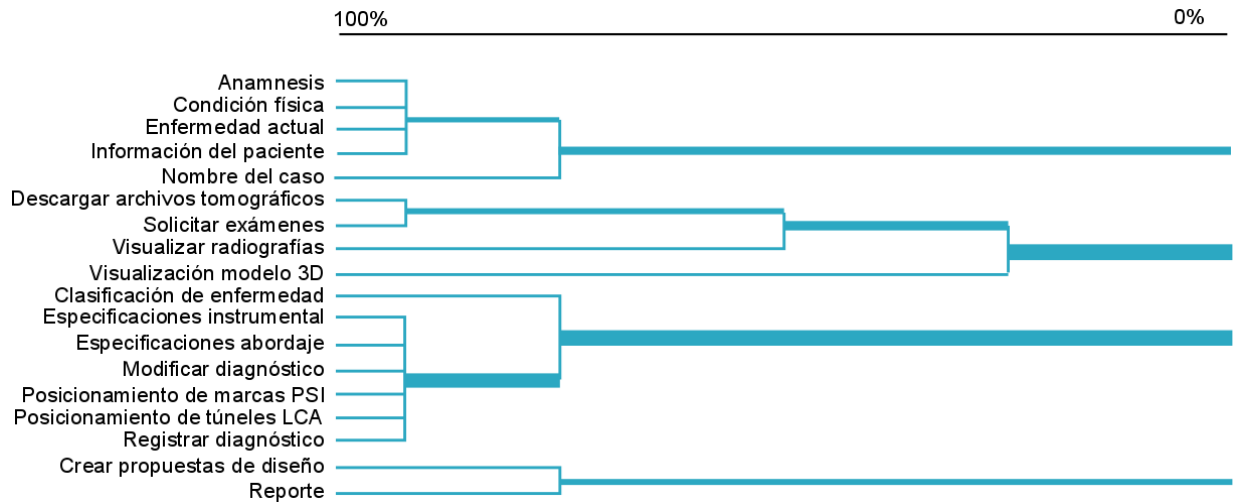
Se realizó el card sorting con 6 usuarios, 4 ortopedistas y 2 estudiantes de diseño industrial que están trabajando con el grupo INTERFAZ en el área de implantes hechos a la medida.

Con las tarjetas se les solicitó a los participantes de la prueba que agruparan los conceptos y los organizaran en las categorías establecidas. Durante la prueba se les entregó tarjetas en blanco donde podían agregar conceptos extra. Las pruebas tuvieron un tiempo promedio de 8 min donde se obtuvieron los resultados vistos en la Tabla 15 y figura 16.

Tabla 15. Resultados de la prueba cardsorting cerrado

	Caso clínico	Solicitudes exámenes	Diagnostico	Validación
Anamnesis	100%			
Clasificación de enfermedad			75%	
Condición física	100%			
Crear propuestas de diseño				100%
Descargar archivos tomográficos		100%		
Enfermedad actual	100%			
Especificaciones abordaje			100%	
Especificaciones instrumental			100%	
Información del paciente	100%			
Modificar diagnóstico			100%	
Nombre del caso	75%			
Posicionamiento de marcas PSI			100%	
Posicionamiento de túneles LCA			100%	
Registrar diagnóstico			100%	
Reporte				75%
Solicitar exámenes		100%		
Visualización modelo 3D		25%	75%	
Visualizar radiografías		50%	50%	

Figura 16. Dendograma agrupación de conceptos



En la **tabla 15** se muestra el porcentaje de participantes que organizaron las tarjetas en las categorías indicadas, se aclara que algunas categorías no tienen un uso del 100% debido a que algunos usuarios consideraron que esa tarjeta no es necesaria en el flujo de trabajo.

Análisis de resultados

En la **figura 17** se muestra la organización promedio obtenida por los usuarios. Se comprobó que el cardsorting realizado con usuarios es similar al cardsorting realizado a partir de la literatura y conocimientos sobre el flujo. Esta comparación nos indica que el flujo propuesto y la organización de la estructura son familiares para los usuarios lo que conlleva a que se pueda utilizar como punto de partida para idear la estructura de tareas de la herramienta.

Figura 17. Organización del cardsorting obtenido de las pruebas con usuarios

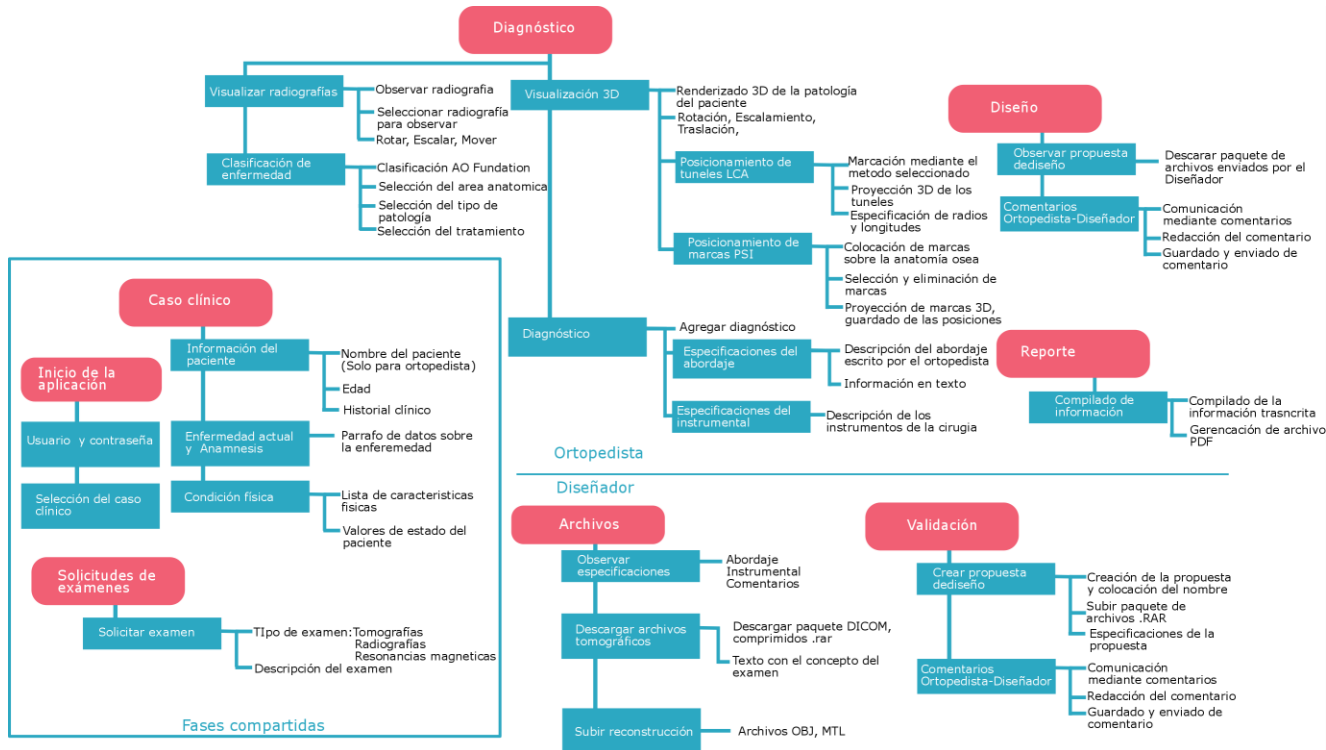
Caso clínico	Solicitudes de exámenes	Diagnóstico	Validación
Enfermedad actual	Solicitar exámenes	Registrar diagnóstico	Crear propuesta de diseño
Anamnesis	Descargar archivos tomográficos	Modificar diagnóstico	Comentarios ortopedista diseñador
Información del paciente	Visualizar radiografías	Clasificación de enfermedad	Reporte
Condición física		Visualización modelo 3D	
Nombre del caso		Posicionamiento de marcas PSI	
		Posicionamiento de túneles LCA	
		Especificaciones abordaje	
		Especificaciones instrumental	

6.1.3. Arquitectura de información

Con los datos obtenidos de las actividades de cardsorting, se diseñó una arquitectura de información el cual tiene en cuenta las actividades del flujo de trabajo, las necesidades de los usuarios y los requerimientos. El desarrollo de esta arquitectura, se realizó de manera iterativa.

La **figura 18** muestra la estructura de la información para la herramienta digital, se observa cada uno de las etapas del flujo de trabajo propuesto, los conceptos y los subconceptos derivados de las funcionalidades anteriormente descritas.

Figura 18. Diagrama de arquitectura de información



6.1.4. Listado de tareas

Se generó una lista de tareas que el usuario debe realizar en términos de acciones y/o procesos para finalizar un procedimiento. Por ende se identificaron las acciones generales que los usuarios deben realizar de acuerdo al contenido obtenido de la arquitectura y siguiendo el orden del flujo de trabajo del proceso de pre-planeación.

Para cada uno de los usuarios arquetipo se realizó el siguiente proceso de definición de tareas:

Figura 19. Procedimiento definición de lista de tareas



6.1.4.1. Identificación de tareas generales

Se propuso una lista de tareas que debe desarrollar cada rol (Ortopedista y diseñador) para que el proceso de pre-planeación pueda ser llevado a cabo por la herramienta digital. Las tareas del ortopedista van desde solicitar exámenes, pasando por el diagnóstico y toma de decisiones, culminando en la observación de un reporte final. El diseñador debe brindar recursos gráficos 3D y diseñar implantes personalizados si el caso lo necesita. Estas tareas pueden observarse en la Tabla 16.

Tabla 16. Tareas generales

	Tareas proceso LCA	Tareas Proceso PSI
Ortopedista	<ol style="list-style-type: none"> 1) Ingresar como usuario a la aplicación 2) Seleccionar el caso clínico 3) Observar el caso clínico del paciente 4) Solicitar los exámenes pertinentes 5) Observar exámenes (imágenes diagnosticas) 6) Realizar el proceso de marcación de túneles 7) Escribir las especificaciones 8) Observar el reporte 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Ingresar como usuario a la herramienta digital 2) Seleccionar el caso clínico 3) Observar el caso clínico del paciente 4) Solicitar los exámenes pertinentes 5) Realizar la selección de trauma y del tratamiento referente a la AO foundation 6) Realizar el proceso de marcación de puntos para diseño del implante 7) Escribir especificaciones e instrumental 8) Observar y descargar propuesta de diseñador 9) Escribir y leer comentarios sobre el diseño 10) Observar el reporte
Diseñador	<ol style="list-style-type: none"> 1) Ingresar como usuario a la aplicación 2) Seleccionar el caso clínico 3) Descargar tomografías 4) Subir reconstrucción para visualizaciones 3D 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Ingresar como usuario a la aplicación 2) Seleccionar el caso clínico 3) Descargar las tomografías 4) Subir la respectiva reconstrucción 5) Observar especificaciones 6) Crear propuesta de diseño (Enviar archivos) 7) Escribir y leer comentarios sobre el diseño

6.1.4.2. Descomposición en las tareas específicas

En la tabla 13 se puede observar la descomposición de tareas en sub-tareas, las cuales son pasos que se deben desarrollar para culminar la tarea general satisfactoriamente.

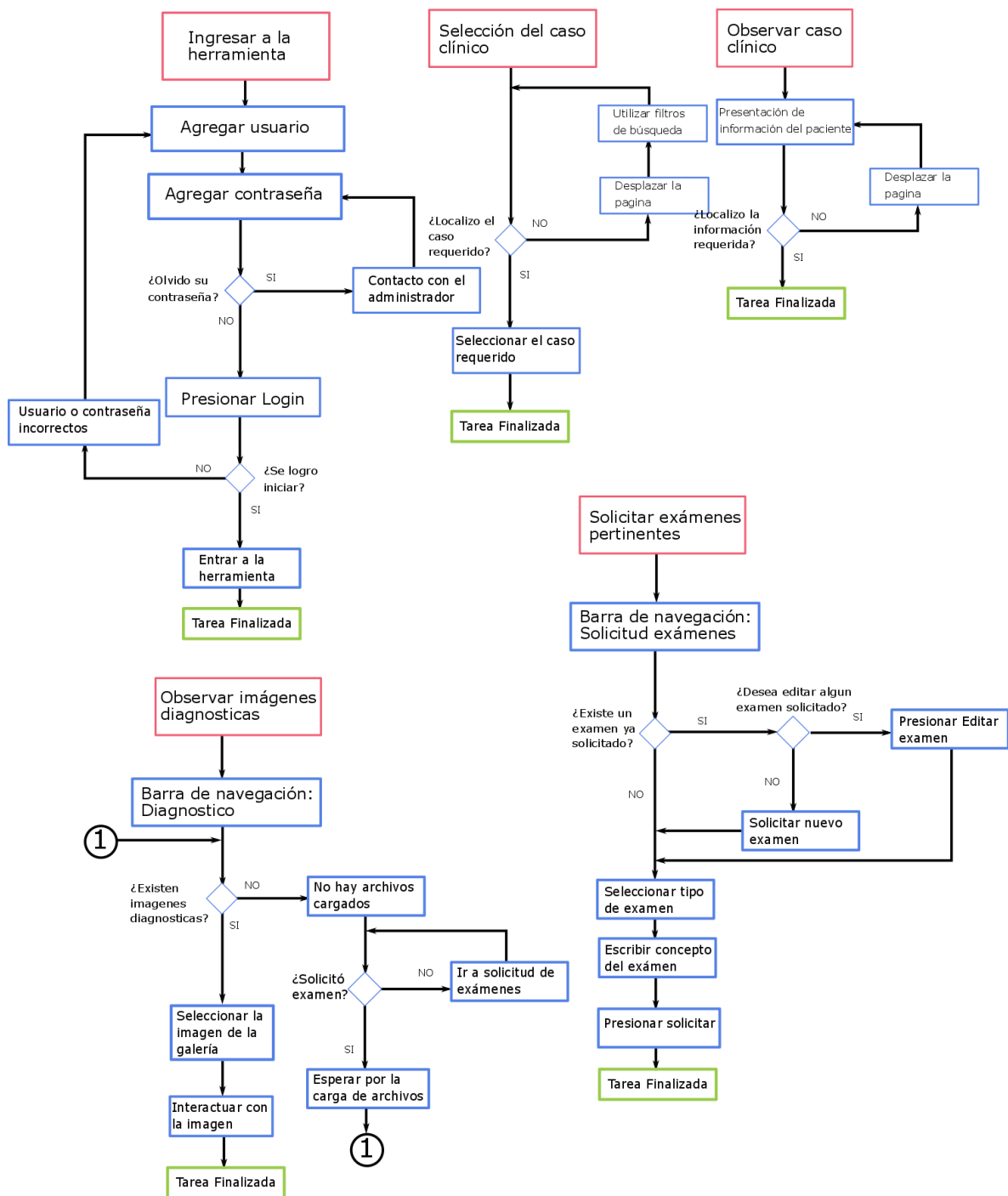
Tabla 17. Descomposición de las tareas en sub-tareas

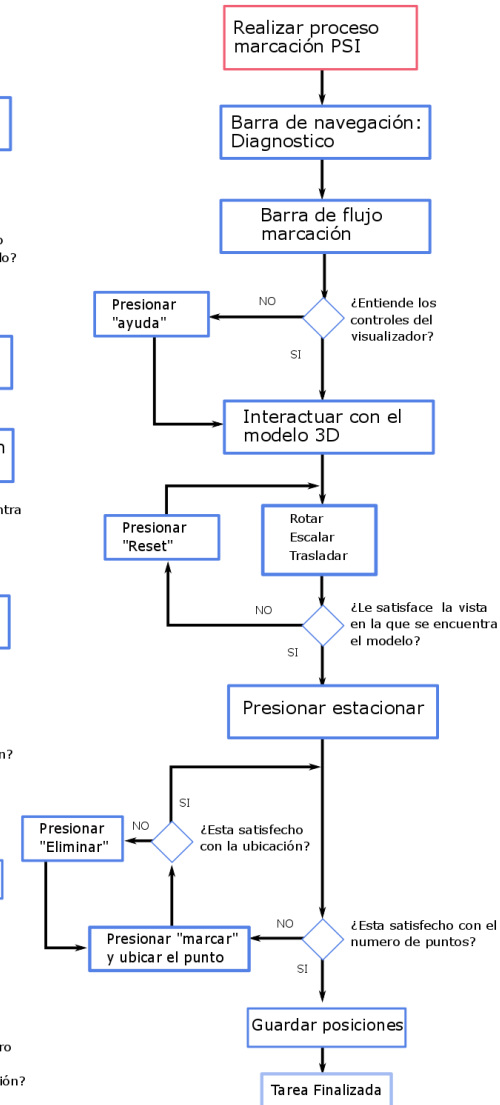
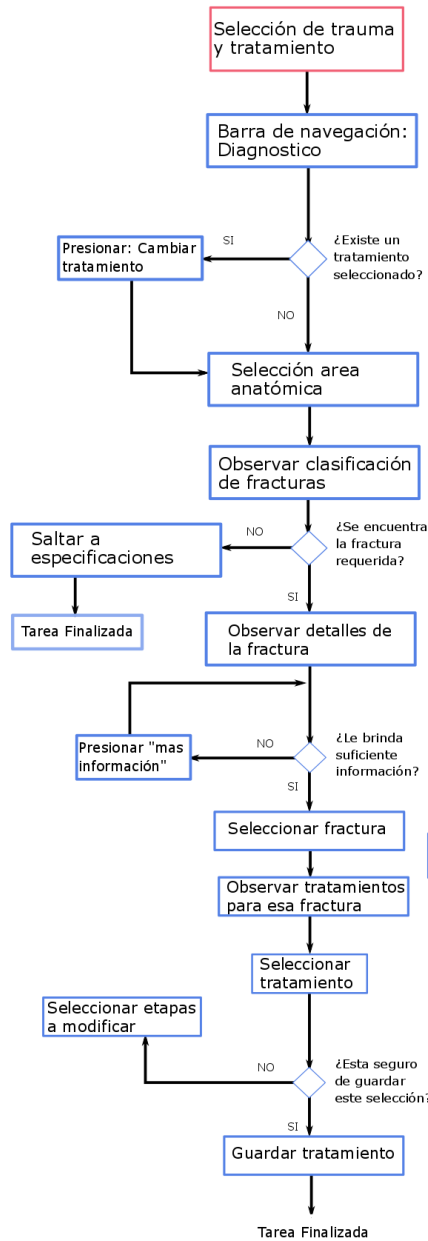
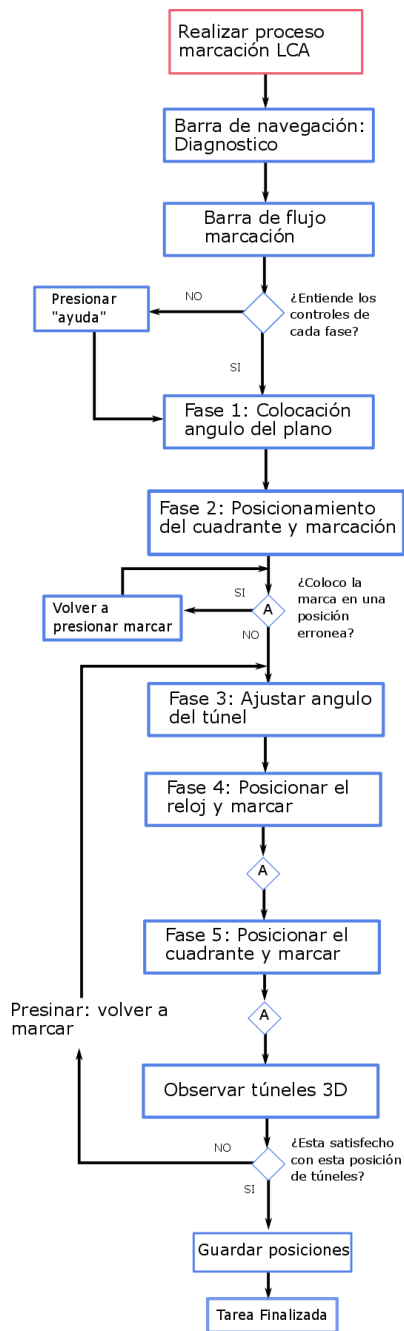
No	Tarea general	Tareas específicas
1	Ingresar a la herramienta	*Ingresar usuario *Ingresar contraseña *Presionar "Login" (entrar)
2	Selección del caso clínico	*Búsqueda del caso *Uso de los filtros de búsqueda *Seleccionar el caso requerido
3	Observar caso clínico	*Deslizar barra scroll *Observar detalles de los diferentes datos del paciente
4	Solicitar exámenes pertinentes	*Seleccionar apartado exámenes *Seleccionar el tipo de examen *Escribir especificaciones para la solicitud
5	Observar exámenes (Img Diagnosticas)	*Enviar Solicitud *Seleccionar apartado diagnostico *Observar la galería de imágenes *Seleccionar la imagen requerida
6	Selección de trauma y tratamiento	*Interactuar con la imagen *Seleccionar diagnostico *Selección área anatómica *Selección tipo de fractura
7	Realizar el proceso de marcación de túneles para ligamento cruzado anterior	*Observar detalles de la fractura *Seleccionar tratamiento *Guardar selección *Selección marcación *Marcación Punto A del túnel tibial *Posicionamiento del túnel B mediante angulación
8	Realizar el proceso de marcación de puntos para Dis. De implante	*Posicionamiento del túnel A femoral (Método reloj/Cuadrante) *Posicionamiento del túnel B femoral *Visualización 3D de los túneles *Realizar la colocación de puntos como marcas *Seleccionar y/o eliminar *Guardar posición de marcas para diseñador
9	Escribir las especificaciones pertinentes	*Realizar la colocación de puntos como marcas *Guardar información *Seleccionar especificaciones *Ingresar especificación abordaje *Ingresar instrumental abordaje
10	Observar reporte	*Guardar información *Seleccionar reporte *Leer los detalles del reporte *Descargar PDF
11	Observar y descargar la propuesta del diseñador	*Descargar propuesta *Seleccionar propuesta *Seleccionar la propuesta especifica *Búsqueda de la propuesta
12	Escribir y leer comentarios sobre el diseño	*Seleccionar propuesta *Digital la información que se enviara *Presionar comentar
13	Descargar tomografías	*Seleccionar archivos *Presionar descargar
14	Subir la reconstrucción	*Presionar guardar *Seleccionar agregar archivos *Seleccionar archivo OBJ *Seleccionar archivo MTL
15	Crear propuesta de diseño	*Escribir especificaciones *Seleccionar propuesta *Presionar nueva propuesta *Seleccionar y subir paquete de archivos

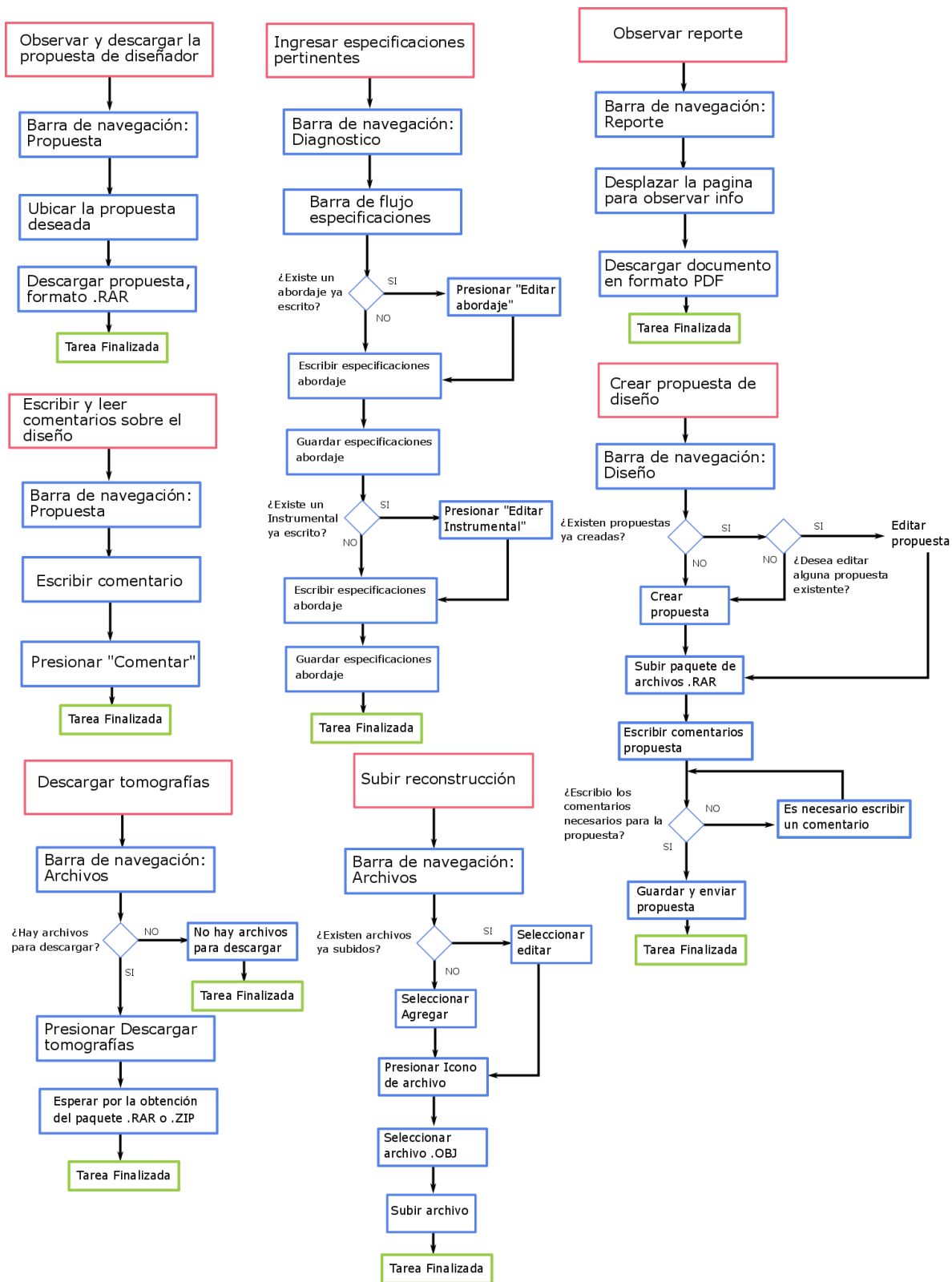
6.1.4.3. Diagramas de flujo de tareas

Para observar y entender el proceso de cada tarea, se realizó un diagrama de flujo con el propósito de representar gráficamente los flujos de información del sistema.

Figura 20. Diagrama de flujo de las tareas







6.2. DISEÑO DE INTERACCIÓN

Objetivo: Determinar las características de la interfaz gráfica que sean más apropiadas para que el usuario pueda desarrollar sus tareas eficientemente

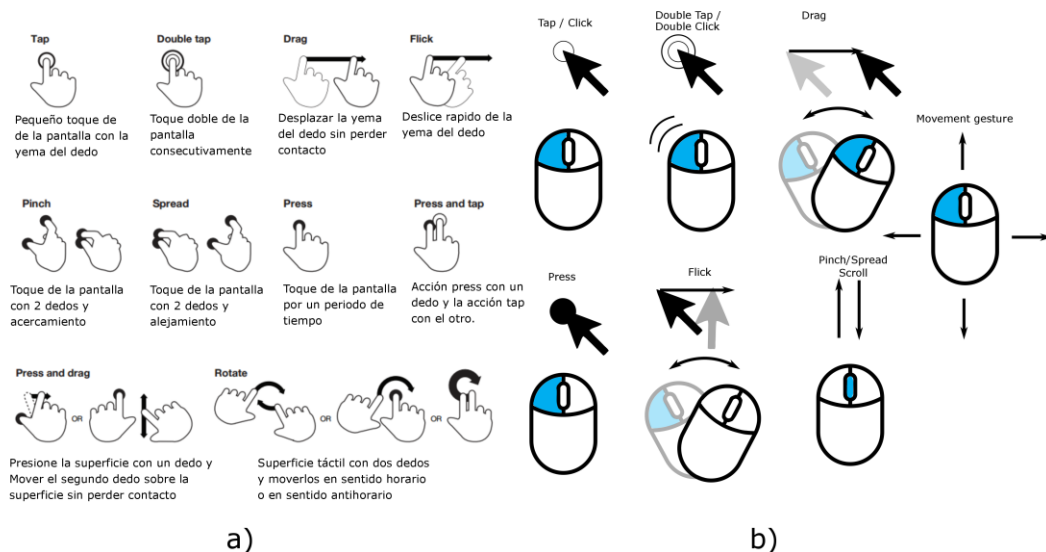
6.2.1. Definición de gestos existentes

La comunicación del usuario con un dispositivo electrónico, se realiza a través de periféricos o directamente en la pantalla utilizando gestos como medio de reconocimiento. Debido a las características multiplataforma de la herramienta digital, se utilizaron 2 grupos de gestos: Gestos click y gestos touch. Los gestos click son los que se derivan de la utilización de periféricos como el mouse o el teclado. Los gestos Touch realizan la interacción directamente en la pantalla táctil del dispositivo.

Gestos touch

El estándar de gestos utilizados para pantallas táctiles⁶⁷ son los siguientes:

Figura 21. Términos y definiciones de los gestos touch y equivalentes como gestos click



⁶⁷ Craig Villamor, Dan Willi, and Luke Wroblewski, 'Touch Gesture', *Touch Gesture Reference Guide*, 2011, 1–23.

Gestos click: El mouse es un periférico el cual sus controles pueden ser adaptados para realizar una tarea específica. No obstante utilizando como guía los gestos touch se realizó una reproducción gestual empleando el periférico como se observa en la **figura 21** “b)”. La mayoría de los gestos se pueden realizar utilizando el click izquierdo y el scroll. El click derecho no está disponible, debido a que está reservado para funciones del navegador web

Iconos como metáforas

Los iconos y otras señales son formas de visualización rápida, que ayudan al usuario a identificar y recordar información⁶⁸. Se realizó una serie de iconos, que expresan mediante metáforas familiares a los usuarios arquetipo, la información necesaria para que se pueda realizar el proceso de pre-planeación satisfactoriamente. En el apartado **6.2.2 Desarrollo de diagrama de información-acción-interacción** se puede observar los iconos y como fueron utilizados para las tareas.

Figura 22. Metáforas utilizadas en iconos para mejorar reconocimiento



⁶⁸ A Sears and J A Jacko, *The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications, Third Edition*, Human Factors and Ergonomics, 2002.

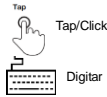







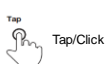


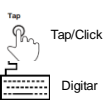







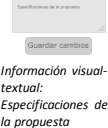
6.2.2. Desarrollo de diagrama de Información-Acción-Interacción

A cada tarea se le asignó un tipo de información visual y una interacción con la que el usuario pueda ejecutar la tarea. Los gestos utilizados para la herramienta podrán ser ejecutados tanto en pantallas táctiles como con periféricos, de esta manera asegurar su funcionamiento en cualquier plataforma.

En la tabla 14, se muestra el proceso del flujo de trabajo representado por acciones que debe realizar el usuario. A cada acción se le asignó un grupo de elementos visuales como información visual, con el propósito de que pueda ser identificado lo que el usuario debe hacer para llevar a cabo la tarea utilizando las interacciones o gestos aplicados.

Tabla 18. Diagrama de información-acción-interacción (gesto)

Proceso Medico ortopedista LCA/PSI							
	Resumen de la herramienta	Ingresar como usuario		Selección del caso		Control	Caso clínico
Interacción							
Acción	Navegar por la presentación inicial	Agregar usuario y contraseña	Ingresar a la herramienta	Selección del caso clínico	Filtrar para buscar un caso específico	Controles de usuario	Ingresar a la información del paciente
Información		<input type="text" value="Usuario"/> <input type="password" value="Contraseña"/>			<input type="text" value="Búsqueda..."/>		
		Información visual: Puntos de viñeta, Flechas y	Información visual-textual: Campo de entrada de texto	Información visual: Entrar	Información visual: Caso clínico específico	Información visual: Filtros de búsqueda	Información visual: Iconos; Salir del caso, notificaciones y configuración
		Información visual-textual: Campo de entrada de texto				Información visual: Icono caso-clínico	Información visual: Información del paciente
Solicitud de exámenes				Proceso Diagnostico		Proceso diagnostico 1: Imágenes Diagnosticas	
Interacción							
Acción	Ingresar a la zona de solicitud	Selección del tipo de examen	Escribir especificaciones del examen	Enviar la solicitud	Ingresar a realizar el proceso diagnostico	Navegar entre los pasos del proceso	Seleccionar la imagen diagnostica
Información		<input type="text" value="Seleccione"/>	<input type="text" value="Escriba especificaciones"/>	<input type="button" value="Solicitar examen"/>			
	Información visual: Icono solicitar exámenes	Información visual-textual: Selección	Información visual-textual: Cuadro de texto	Información textual: Solicitar	Información visual: Icono Diagnostico	Información visual: barra de procesos	Información visual: Galería de exámenes
							Información visual: Imagen diagnostica
Proceso diagnostico 2: Selección de fractura				Proceso diagnostico 3: Marcación de posiciones túneles LCA			
Interacción							
Acción	Activa la información extra de la enfermedad	Entra a la sección de enfermedades mas especificas y selecciona la fractura	Selecciona el tratamiento y termina el proceso	Activa el texto de ayuda	Cierra el texto de ayuda	Control de las funciones de posicionamiento de cuadrantes guía	Rotación controlada de modelos y guías
Información		<input type="button" value="Proceder"/> <input type="button" value="Tratamientos"/>	<input type="button" value="Seleccionar"/>		<input type="button" value="Entendido"/>		
	Información visual: mas información	Información visual y textual: Proceder y tratamiento	Información visual: Seleccionar tratamiento	Información visual: Ayuda	Información visual-textual: Entendido	Información visual: Control y cuadrante guía	Información visual: Guías de control
							Información visual: Icono marcar
Proceso diagnostico 3: Marcación de posiciones PSI						Propuesta de diseño	Propuesta de ...
Interacción							
Acción	Activar los modos de rotación y traslación. Reseteo de la posición del modelo	Bloquea la utilización del modo control de vista y activa la marcación	Rota o traslada dependiendo del modo que este activo	Activa el modo marcación de puntos y permite la ubicación de un punto	Activa el modo marcación de puntos, permite la ubicación de un punto y permite la eliminación de un punto	Ingresar al apartado de las propuestas del diseñador	Redacción de comentarios diseñador/ortopedista
Información							<input type="button" value="Comentarios"/> <input type="button" value="Comentar"/>
	Información visual: Iconos de control de la vista	Información visual: Icono de estacionar	Información visual: Modelo 3D	Información visual: Icono marcar	Información visual: Iconos seleccionar, eliminar	Información visual: Icono propuesta	Información visual: Icono pre-planeación

	... diseño	Reporte						
Interacción								
Acción	Apartado para redactar las actividades del abordaje quirúrgico	Apartado del reporte final						
Información								
Proceso Diseñador								
	Gestión de archivos			Especificaciones	Propuesta de diseño			
Interacción								
Acción	Ingresa al apartado donde se descargan y cargan los archivos visuales respectivos	Permite la descarga de tomografías para reconstrucciones 3D	Agregar archivos de reconstrucción 3D	Ingresa al apartado de especificaciones escritas por el ortopedista	Ingresa al apartado de las propuestas del diseñador	Entra en el apartado de propuestas	Abre la ventana de selección de archivo	Guarda la propuesta y las especificaciones, crea un registro a partir de la propuesta
Información								

6.3. PROTOTIPADO Y PRUEBAS

Las pruebas con prototipos se llevaron a cabo como un proceso iterativo, donde a partir de un planteamiento base de arquitectura de información, se desarrolló un concepto de interfaz propuesto en medios simulados de diferentes niveles de complejidad, para ser sometidos a pruebas con sus respectivas mejoras en cada iteración.

Se plantearon 3 iteraciones, donde en la primera se propuso una primera versión de arquitectura de información y se desarrollaron 2 prototipos de papel como medio de interacción. Estas versiones se sometieron a prueba utilizando la siguiente metodología: Selección de participantes, especificaciones de las tareas que debe realizar el usuario, realización de la prueba, verificación del flujo de

tareas, discusión mediante respuestas cualitativas por parte de los usuarios y evaluación heurística mediante la herramienta SIRIUS.

SIRIUS⁶⁹ es un formato de pruebas de usabilidad enfocado a páginas web. El cual presenta un porcentaje de usabilidad basado en propiedades que debe tener una herramienta web. Sirius utiliza un grupo de atributos a los cuales se les debe asignar un valor, durante la evaluación heurística a cada concepto se le asigna un valor dentro de un rango de 7 niveles, donde se evalúa si la herramienta cumple o no con dicho atributo. La herramienta de evaluación realiza una sumatoria de los valores obtenidos enmarcados en las siguientes categorías: Aspectos generales, identidad e información, estructura y navegación, rotulado, layout de la página, entendibilidad y facilidad, control y realimentación, elementos multimedia, búsqueda y finalmente ayuda. Cada categoría cuenta con unos atributos para evaluar, de esta manera la herramienta calcula mediante los valores seleccionados y presenta un porcentaje de usabilidad, donde tener un valor alto en este resultado demuestra la calidad de la herramienta. La estructura de la herramienta sirius puede observarse en el **Anexo L**.

Una vez establecido las tareas principales y después de hacer los ajustes correspondientes, se procedió a una segunda iteración donde se realizaron prototipos digitales por medio de una herramienta digital conocida como Justinmind⁷⁰, el cual permite la simulación y construcción rápida de gestos e interacciones. Se aplicó la misma metodología de las primeras pruebas, sin embargo en esta iteración se amplió la captura de datos a la evaluación de los atributos de eficacia y eficiencia, por medio de verificaciones cuantitativas.

Con la estructura ya definida se procede a realizar una última iteración con la construcción de un prototipo digital de alta complejidad, donde se cuenta con un servidor local y una base de datos con información transferible. Se aplicó la misma

⁶⁹ Ma del Carmen Suárez, 'Sistema de Evaluación de La Usabilidad Web Orientado Al Usuario Y Basado En La Determinación de Tareas Críticas', *Universidad de Oviedo*, 2011, 200.

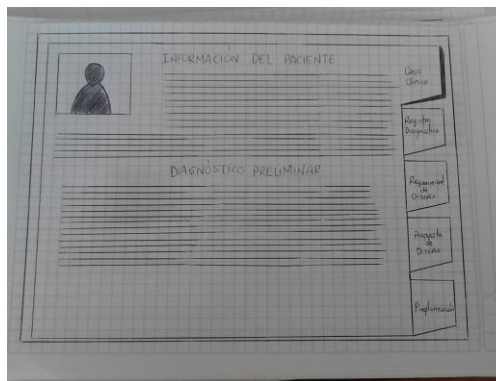
⁷⁰ 'Justinmind', 2015 <www.justinmind.com>.

metodología de evaluación de la iteración previa incluyendo los atributos de eficiencia y eficacia, la ampliación para esta prueba fue comprobar el flujo de trabajo entre los diferentes roles.

Una vez comprobado el flujo de trabajo y de haber propuesto una arquitectura de información final se procede al desarrollo de la herramienta digital.

6.3.1. Primera iteración de prueba con prototipos

Figura 23. Prototipo de papel



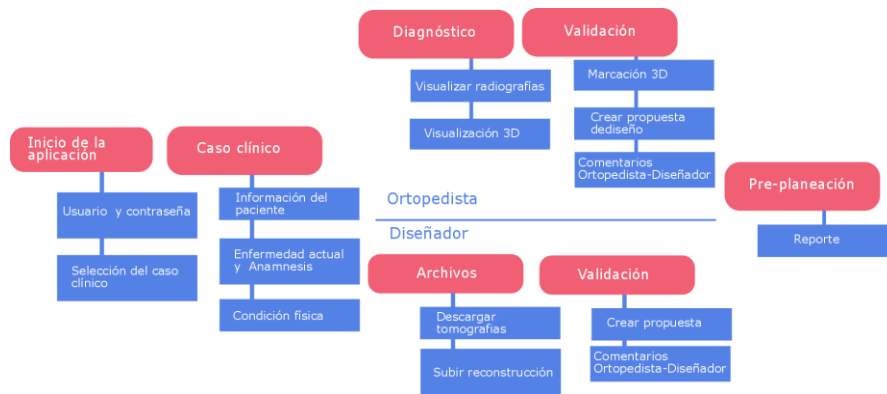
Se realizaron un conjunto de 4 prototipos de papel, 2 versiones para el ortopedista y 2 versiones para el diseñador. Son prototipos de bajo nivel de complejidad, desarrollados en papel y lápiz. En estos se plasmaron las tareas identificadas con todas las opciones y simulaciones de herramientas de navegación.

6.3.1.1. Prueba primer prototipo de papel

Para la primera iteración se desarrolló un primer prototipo de papel utilizando la arquitectura de información de la figura 24. Este diagrama se estructuró a partir del flujo de trabajo obtenido de los requerimientos y del cardsorting. El propósito de la prueba es observar la interpretación de la navegación general de la herramienta, identificar errores en los temas, malinterpretaciones, errores en el flujo de trabajo,

y bloqueantes en el proceso de pre-planeación. Todos los prototipos pueden ser observados en los **Anexos G, H, I, J y K.**

Figura 24. Resumen primer diagrama de arquitectura de información



Objetivo: Comprobar la encontrabilidad de la información mediante evaluación heurística con usuario.

Participantes: Profesora Clara López. Investigadora en el área de implantes personalizados e investigadores del grupo interfaz

Tareas que debe realizar los participantes durante la sesión:

- 1) Ingresar como usuario con contraseña
- 2) Seleccionar caso
- 3) Realizar diagnóstico
- 4) Escribir el especificaciones de abordaje e instrumental
- 5) Realizar pre-planeación

Realización de la prueba: Utilizando el prototipo de papel los participantes simulaban la realización de un flujo de trabajo interactuando con la herramienta, culminando las 5 tareas asignadas. Posteriormente se sometieron a discusión, se captaron las recomendaciones de los usuarios y finalmente se aplicó la evaluación heurística SIRIUS.

Resultados de la prueba:

- No es entendible que el menú funciona como un flujo que debe ser respaldado en orden de manera continua.
- No enseña un apoyo en la identificación de un diagnóstico
- Se debe utilizar la clasificación en base a la proporcionada por la AO Foundation para selección de fracturas y tratamientos, como apoyo al ortopedista para realizar un diagnóstico.
- Existen bloqueantes entre algunas ventanas, no hay manera de retornar a un punto previo del proceso.
- No se observa una manera de cerrar sesión o salir del caso clínico.
- Se debe plantear la información con menos palabras y brindar gráficos que ayuden al entendimiento de la herramienta.

6.3.1.2. Prueba segundo prototipos de papel

Tomando las recomendaciones brindadas por las pruebas heurísticas, se ideó otro diagrama de arquitectura descrito en la **figura 25**. A este diagrama se le agregaron los apartados de especificaciones de abordaje, instrumental y una interacción que permita realizar la clasificación de la fractura mediante la base de datos de la AO foundation.

Así mismo se agregaron al prototipo elementos visuales para evitar bloqueantes en el flujo de trabajo y generar una lectura clara y comprensible para los participantes de la prueba. El propósito de este segundo prototipo aparte de observar los mismos parámetros mencionados en la anterior prueba del prototipo de papel, fue corroborar los nuevos conceptos revisados.

Debido a la ampliación de los apartados el número de tareas para esta prueba es de 9.

Figura 25. Segundo diagrama de arquitectura de información

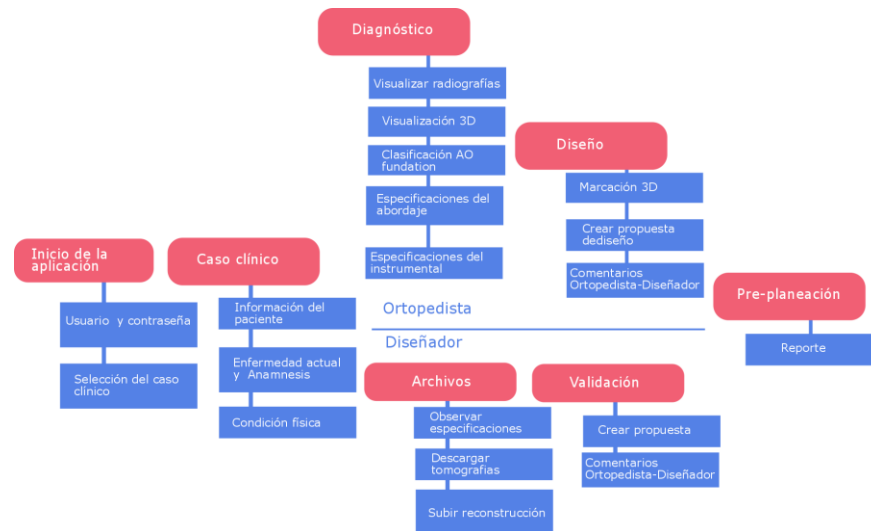


Figura 26. Prueba del prototipo de papel



Objetivo: Comprobar la encontrabilidad de la información y observar la veracidad de los conceptos nuevo aplicados, mediante evaluación heurística con expertos en el tema

Participantes: Profesora Clara Lopez. Investigadora en el área de implantes personalizados.

Tareas de la prueba:

- 1) Ingresar como usuario con contraseña
- 2) Seleccionar caso
- 3) Realizar diagnostico
- 4) Seleccionar fractura

- 5) Seleccionar tratamiento
- 6) Escribir el especificaciones de abordaje e instrumental
- 7) Observar propuesta de diseño
- 8) Crear propuesta de diseño
- 9) Realizar comentarios

Realización de la prueba: Utilizando el prototipo de papel con las modificaciones, los participantes procedieron a realizar las tareas mencionadas. Del mismo que la prueba del primer prototipo, los participantes culminaron las tareas y se realizó una discusión sobre la estructura, la encontrabilidad de la información, el flujo de trabajo y la navegabilidad.

Resultados de la prueba: En esta prueba no se consideraron resultados cuantitativos, los usuarios expertos brindaron una serie de comentarios y correcciones sobre esta segunda arquitectura planteada. De la sesión se obtuvo la siguiente información:

- Se observa una mejoría de la interfaz gráfica, no obstante algunos de los iconos colocados no se identifican correctamente con el apartado que representan.
- Es necesario poder observar imágenes diagnosticas como referencia antes de realizar un diagnóstico. Un grupo de radiografías o tomografías con las muestras más relevantes, generaran un aporte significativo a la toma de decisiones.
- La reconstrucción 3D debe presentarse como ayuda a la toma de decisiones, lo más conveniente es presentarlo antes de la selección de la fractura.
- Se debe seleccionar la información que se presenta en la selección del caso, con el fin de realizar búsquedas familiares para los usuarios ortopedistas.

Resultados evaluación heurística SIRIUS

El formato referente a la evaluación Heurística puede ser observado en el **Anexo L Formato de evaluación Heurística SIRIUS**. El porcentaje de usabilidad **49.48%**.

Lo más destacado en la evaluación heurística fue la poca información de ayuda al usuario, las deficiencias en la navegabilidad y falta de características que permitan al usuario ubicar su posición en el sitio.

6.3.2. Segunda iteración prototipos digitales (Complejidad media)

Con los resultados y cambios realizados durante la etapa del prototipo de papel, se realizó un prototipo de media fidelidad mediante una herramienta conocida como justinmind⁷¹. El software brinda una serie de herramientas que permiten la simulación de gestos e interacciones lo que se conlleva a un ahorro de tiempo y le permite al usuario realizar tareas más complejas.

Esta propuesta visual contiene un diseño de interface derivada como primera propuesta gráfica, incluye imágenes e iconos que realizan la función de brindar información de la estructura e indicaciones de la navegación. De este modo se pretende comprobar la eficiencia y eficacia de la propuesta en un entorno simulado.

⁷¹ 'Justinmind' Op. cit.

6.3.2.1. Prueba primer prototipo digital

Para el desarrollo del primer prototipo digital se empleó el mismo diagrama de información utilizado en la prueba del segundo prototipo de papel. Para esta prueba se amplió la toma de datos mediante la evaluación del atributo de eficacia.

Objetivo: Obtener tanto información cualitativa refiriéndose a errores y problemas en la navegación, como cuantitativa derivado de la eficacia de la herramienta.

Participantes: Médico José Luis Osma especialista ortopedista, Profesora Clara López.

Atributo cuantitativo:

- **Eficacia:** se evaluó con la métrica de número de tareas completadas con éxito y número de tareas completadas al primer intento.

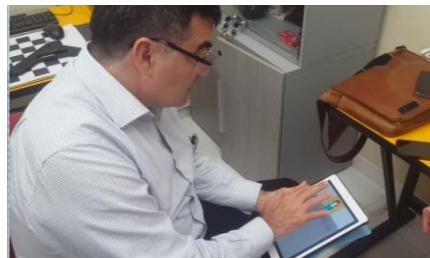
Tareas

- 1) Ingresar en la herramienta
- 2) Seleccionar caso clínico
- 3) Observar caso clínico
- 4) Observar reconstrucción 3D
- 5) Seleccionar la fractura
- 6) Seleccionar tratamiento
- 7) Escribir especificaciones de abordaje e instrumental
- 8) Observar propuesta de diseño
- 9) Realizar un comentario de la propuesta
- 10) Observar reporte

Figura 27. Prototipo digital



Figura 28. Prueba del primer prototipo digital



Realización de la prueba: Utilizando un dispositivo móvil con la herramienta justinmind, el participante desarrolló las 10 tareas propuestas. El usuario realizó la prueba mientras mencionaba comentarios en voz alta sobre la herramienta. Se capturaron datos sobre el número de tareas cumplidas como también se identificaron las tareas que presentaron una mayor dificultad en su culminación.

Resultados de la prueba:

En la tabla 19 podemos observar el número de tareas realizadas con éxito, el número de tareas realizadas al primer intento y las tareas no realizadas.

Tabla 19. Resultados pruebas del primer prototipo digital

	Tarea	Realizada	Realizada con dificultad	No Realizada	
1	Ingresar en la herramienta	■			
2	Seleccionar caso clínico				
3	Observar caso clínico				
4	Observar reconstrucción 3D				
5	Seleccionar la fractura		■		
6	Seleccionar tratamiento				
7	Escribir especificaciones de abordaje e instrumental				
8	Observar propuesta de diseño	■			
9	Realizar un comentario de la propuesta		■		
10	Observar reporte	■			
		Número de tareas realizadas			10
		N° de tareas realizadas al primer intento			6

Análisis de resultados

El gesto que posee el menú, el cual se desplaza para visualizarse es poco comprensible para los usuarios, se tuvo que dar indicaciones sobre el gesto para que los usuarios pudieran realizar sus tareas. En las recomendaciones se mencionó la posibilidad de dejar un menú de navegación estático.

Tarea 1. Ingresar en la herramienta: En ninguno de los 2 casos hubo problemas para ingresar el usuario y contraseña suministrados para la prueba.

Tarea 2. Selección del caso clínico: Ambos usuarios seleccionaron los casos clínicos correspondientes al tema de la prueba. Los usuarios realizaron comentarios acerca de la información que debe poseer esta lista de casos clínicos. Dentro de las mejoras para el próximo prototipo se encuentra colocar un “estado” del caso donde se muestre en qué etapa del proceso se encuentra, una descripción corta del caso, y el nombre del paciente.

Tarea 3. Observar caso clínico: Esta actividad se consideró cumplida en el momento que los usuarios lograron leer en voz alta la información que se encontraba en la parte inferior de la ventana. Como mejora los usuarios

mencionaron una serie de datos que son importantes para la intervención: Motivo de consulta, Enfermedad actual, Examen físico, Anamnesis.

Tarea 4. Observar reconstrucción 3D: El prototipo no cuenta con interacciones 3D, la tarea se le considero terminada en el momento en que los usuarios tocaran la pantalla sobre la imagen de la anatomía ósea.

Tarea 5 y 6 Selección de fractura y tratamiento: Se observó que los 2 usuarios tuvieron problemas al intentar seleccionar estos ítems de la AO fundation. Las causas se debieron a mal interpretaciones de los iconos para seleccionar.

Tarea 7: Escribir especificaciones e instrumental: Uno de los usuarios tuvo dificultades a la hora de hallar el espacio donde debía realizar estas anotaciones. La causa de este error se deriva de la estructura la cual es poco clara para encontrar el apartado mencionado.

Tarea 8 y 9: Observar propuesta de diseño y realizar un comentario: Los usuarios completaron la tarea de encontrar y observar la propuesta. Los 2 usuarios tuvieron problemas a la hora de escribir un comentario para la comunicación Ortopedista-Diseñador, las causas se deben a que no se agregaron iconos o botones que permitieran al usuario detectar la caja de texto correspondiente al comentario

Tarea 10: Observar reporte: Los usuarios llegaron al apartado de reporte sin ningún contratiempo, sin embargo los usuarios comentaron algunos ítems que debe contener dicho reporte: El diagnostico, la selección de la AO y el procedimiento quirúrgico.

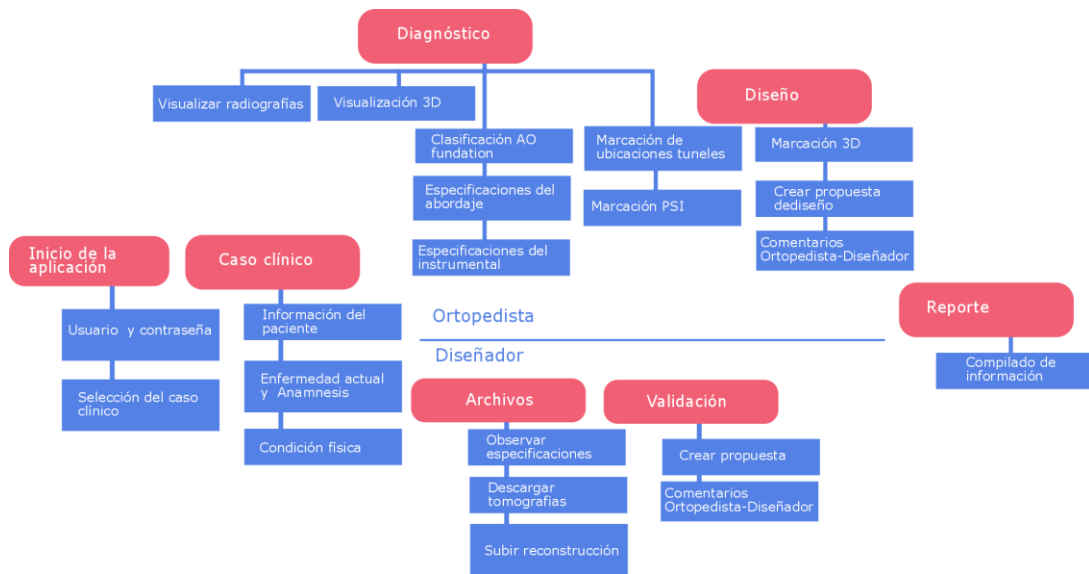
6.3.2.2. Prueba segundo prototipo digital de complejidad media

Para el segundo prototipo se realizó un concepto de visualizador 3D aplicando las técnicas revisadas en el numeral 6.1 Ideación, donde el usuario debía completar una serie de etapas ordenadas para colocar las ubicaciones de los túneles.

Este prototipo se realizó utilizando la recomendación de cambiar la posición del menú y de no necesitar un gesto para su movimiento. Del mismo modo se modificó la estructura de la arquitectura descrita en la figura 28, las modificaciones fueron: Se distribuyeron apartados en subdivisiones, se dividieron las áreas de visualización 3D y visualización de imágenes diagnósticas. Se creó un apartado específico para los aspectos marcación tanto de PSI como de LCA.

La valoración se amplió para evaluar los atributos de eficiencia y eficacia.

Figura 29. Diagrama de arquitectura de información prototipo digital de media complejidad



Realización de la prueba

Objetivo: Evaluar la eficacia y eficiencia de la herramienta digital en cuanto a navegación se refiere, igualmente comprobar el flujo y metodología propuesta para

el proceso de ubicación de los túneles para la intervención del ligamento cruzado anterior.

Participantes: Medico José Luis Osma especialista ortopedista

Atributos:

- **Eficacia:** se evaluara con la métrica de número de tareas completadas con éxito y número de tareas completadas al primer intento.
- **Eficiencia:** Se evaluara con la métrica de tiempo de ejecución de tareas.

Tareas

- 1) Ingresar en la herramienta
- 2) Seleccionar caso clínico
- 3) Observar caso clínico
- 4) Seleccionar la fractura
- 5) Seleccionar tratamiento
- 6) Observar e interactuar con las radiografías
- 7) Observar reconstrucción 3D
- 8) Realizar el proceso de marcación de túneles LCA
- 9) Escribir especificaciones de abordaje e instrumental
- 10) Observar propuesta de diseño
- 11) Realizar un comentario de la propuesta
- 12) Observar reporte

Resultados de las pruebas:

En la tabla 20 se muestran los 2 gráficos de las tareas, tanto del flujo general como del flujo de marcación de túneles LCA. Se puede observar el número de tareas realizadas, las tareas fallidas o no realizadas y las tareas realizadas al primer intento.

Tabla 20. Tablas de resultados evaluación prototipo digital

Prueba general					
	Tarea	Realizada	Realizada con dificultad	No Realizada	Tiempo
1	Ingresar en la herramienta				2 seg
2	Seleccionar caso clínico				4 seg
3	Observar caso clínico				5 seg
4	Seleccionar la fractura				25 seg
5	Seleccionar tratamiento				8 seg
6	Observar e interactuar con radiografías				52 seg
7	Observar reconstrucción 3D				5 seg
8	Realizar el proceso de marcación de túneles LCA				Ver tabla b
9	Escribir especificaciones de abordaje e instrumental				7 seg
10	Observar propuesta de diseño				6 seg
11	Realizar un comentario de la propuesta				X
12	Observar reporte				4 seg
		Número de tareas realizadas		12	
		N° de tareas realizadas al primer intento		9	
		Tiempo total promedio		1 min. 58seg	

a)

Prueba LCA					
	Tarea	Realizada	Realizada con dificultad	No Realizada	Tiempo
1	Tibia: Posicionar ángulo del cuadrante				50s
2	Tibia: Posicionar cuadrante y marcar				30s
3	Tibia: Colocar el ángulo del túnel				25s
4	Fémur: Posicionar el reloj y marcar ángulo				1m
5	Fémur: Posicionar el cuadrante y marcar				30s
		Número de tareas realizadas		5	
		primer intento		0	
		Tiempo total promedio		3 min. 15 seg	

b)

Análisis de resultados

La nueva configuración en la barra de navegación logro evidenciar un mejor entendimiento en cuanto al reconocimiento de secciones.

Prueba general

Tareas 1, 3, 4 y 5: No se evidencio ningún problema por el usuario a la hora de realizar las tareas mencionadas. Se observó que hubo una pequeña duda al momento de ubicar la zona donde se podía realizar las selecciones del

tratamiento, no obstante debido a que gráficamente es familiar a la AO Foundation no hubo un retardo de tiempo considerable al momento de seleccionar.

Tarea 2 Selección del caso: Se observó que el usuario intento identificar el caso del LCA inspeccionando las imágenes radiográficas que se colocaron en cada caso clínico.

Tarea 6 observar e interactuar con radiografías: El usuario empleo un valor considerable de tiempo para identificar la zona donde se encontraba la galería con las imágenes diagnósticas. Esto se debió a la propuesta de menú secundario creado, el cual no fue lo suficientemente claro para el usuario.

Tarea 7 Observar reconstrucción 3D: La reconstrucción 3D se encontraba en una zona a la cual solo se podría acceder por el menú secundario mencionado en la **Tarea 6**, a pesar de tener el mismo problema fue realizada en mucho menos tiempo. Esto se debió a que el usuario ya sabía de la existencia de este submenú cuando realizo la tarea de encontrar las imágenes diagnósticas.

Tarea 9, 10 y 12: El usuario identifico correctamente las ubicaciones de los apartados invirtiendo un tiempo menor a 8 segundos. En cuanto a las especificaciones el usuario aconsejo que se debían colocar al final del proceso diagnóstico, ya que se debe revisar las reconstrucciones, imágenes diagnósticas y demás información antes de escribir cualquier tipo de abordaje quirúrgico.

Tarea 11 Realizar un comentario de la propuesta: Esta tarea no se realizó. El usuario no pudo encontrar la ubicación del gesto que iniciaba la acción. La causa de este error fue la implementación poco clara de un gesto. El cual hacia aparecer el cuadro de texto donde se realiza el comentario.

Prueba LCA

Durante esta prueba se propuso una versión de visualizador de marcación de ubicación de túneles para poder enseñar al ortopedista una visualización previa de

la dirección por donde pasara el injerto. En general el usuario tuvo problemas para completar el proceso de marcación de túneles. Durante la sesión se observó que la ayuda suministrada para este proceso no fue efectiva ya que el usuario no podía entender cómo debía proceder en la tarea.

Resultados evaluación heurística SIRIUS

El formato referente a la evaluación Heurística puede ser observado en el **Anexo J Formato de evaluación Heurística SIRIUS**. El porcentaje de usabilidad es de **54.04%**.

6.3.3. Tercera iteración Prototipo digital de alta fidelidad

Este prototipo digital se realizó en una plataforma web, lo cual permitía su compatibilidad en diferentes dispositivos. Se utilizó el diagrama de arquitectura de información y la tabla de información-acción-interacción mencionados en el numeral 6.1.3 y 6.2.2.

Se construyó como parte temprana del desarrollo, para observar el comportamiento de los gestos, interacciones propuestas y su viabilidad técnica.

Objetivo: Observar el comportamiento de los gestos e interacciones propuestas de la herramienta digital en un entorno web. Comprobar el flujo de trabajo de gestión y comunicación

Atributos:

- **Eficacia:** se evaluara con la métrica de número de tareas completadas con éxito.
- **Eficiencia:** Se evaluara con la métrica de tiempo de ejecución de tareas.

Participantes: Profesora Clara López Experta en el proceso de diseño PSI

1 Estudiante de Diseño trabajando en el campo PSI

Figura 30. Pruebas prototipo digital



Flujo de tareas a comprobar

- 1) Ingresar en la herramienta
- 2) Seleccionar caso clínico
- 3) Solicitar exámenes
- 4) Descargar Tomografías
- 5) Realizar la reconstrucción y subir los respectivos modelos
- 6) Realizar propuesta de diseño
- 7) Realizar validaciones diseñador-ortopedista

Realización de la prueba: Se realizaron una serie de pruebas para comprobar el flujo de las tareas en un ambiente simulado de trabajo para la realización de PSI. La **figura 30** se observa la sesión que se realizó durante una reunión del grupo interfaz que trabaja en implantes personalizados y médicos ortopedistas, en la facultad de salud.

Para la prueba se contó con archivos DICOM de tomografías obtenidas por medio del grupo INTERFAZ.

Se realizó una prueba del flujo de archivos donde el ortopedista ingreso como usuario y solicitó los exámenes pertinentes, posteriormente realizando el papel del centro médico estos archivos diagnósticos fueron agregados a la base de datos. El diseñador ingreso como usuario a la herramienta, descargo los archivos tomográficos y procedió a simular la realización de una reconstrucción 3D. Una vez obtenido los modelos 3D comenzó a cargarlos a la base de datos por medio de la herramienta.

Al final de las pruebas, se realizó una evaluación heurística utilizando un formato de pruebas de usabilidad enfocado a páginas web llamado SIRIUS²³. El cual presenta un porcentaje de usabilidad, basado en propiedades que debe tener una herramienta web para brindar una experiencia de usuario satisfactoria.

El diseñador creo una propuesta de diseño utilizando y la subió a la herramienta digital, posteriormente fue presentada al ortopedista y se observó como la comentaron. La comunicación se realizó de manera directa así que no efectuaron uso de la herramienta. Se tomaron notas de la manera como el medico ortopedista habla sobre los implantes personalizados.

Resultados de la prueba:

En la tabla 21 se puede observar el tiempo transcurrido por cada tarea, además del número de tareas realizadas con éxito.

Tabla 21. Tiempo de realización de las tareas del flujo

No.	Tarea Flujo	Tiempo promedio del flujo
1	Ingresar en la herramienta	4 (Seg)
2	Seleccionar caso clínico	3 (seg)
3	Solicitar exámenes	16 (seg)
4	Descargar Tomografías	8 (seg)
5	Realizar la reconstrucción y subir los respectivos modelos	35 (seg)
6	Realizar propuesta de diseño	20 (seg)
7	Realizar validaciones diseñador-ortopedista	No se ejecuto mediante la herramienta
	Número de tareas realizadas	6
	Tiempo total promedio	1 min. 26 seg.

Resultados evaluación heurística SIRIUS

El formato referente a la evaluación Heurística puede ser observado en el **Anexo J Formato de evaluación Heurística SIRIUS**. El porcentaje de usabilidad es de **66.09%**.

Presenta un incremento de valor con respecto a la evaluación del prototipo de papel. Lo más destacable es la ausencia de ayudas al usuario en caso de cometer un error además de no existencia datos de contacto con la empresa o desarrolladores.

Análisis de resultados

Se cumplió satisfactoriamente con el flujo propuesto entre ortopedista-diseñador. Los tiempos registrados no tuvieron en cuenta el tiempo de respuesta de la herramienta, debido al tamaño de los archivos y a que es una versión temprana de la herramienta digital.

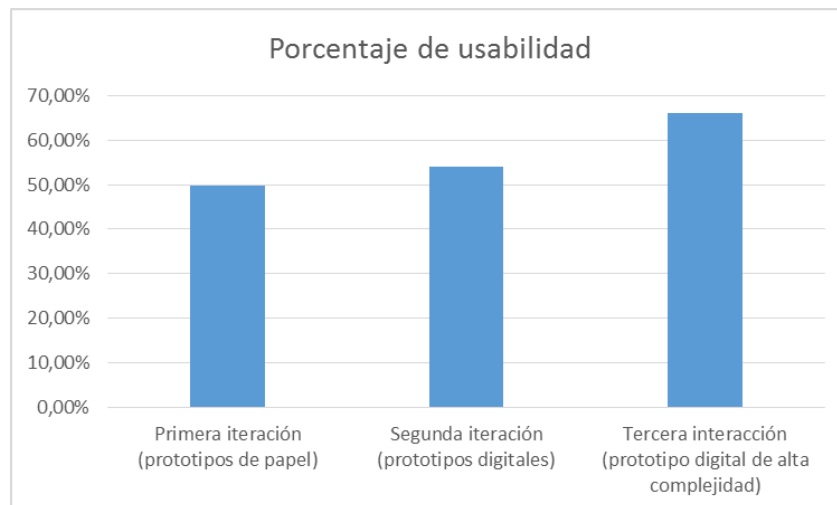
Los usuarios no tuvieron mayor inconveniente al realizar las tareas mencionadas en la herramienta digital, se observó un grado de confusión en algunos apartados, sobre todo en las secciones de descarga y carga de archivos, donde los iconos

utilizados no fueron lo suficientemente claros y produjo una demora en el tiempo de ejecución. Se observó que uno de los factores que hace que existan demoras fue el poco contraste de los iconos con el fondo, los cuales son visibles pero no generan la suficiente atención.

SIRIUS porcentaje de usabilidad

En la figura 31 se puede observar el incremento del porcentaje de usabilidad obtenido como resultado de la evaluación heurística sirius a cada una de las iteraciones.

Figura 31. Gráfica de progreso del porcentaje de usabilidad



Se puede observar que ha habido un incremento en el valor de esta calificación, sin embargo la diferencia entre iteraciones es bastante pequeña. Los atributos que iban mejorando con respecto a cada iteración no generaron un porcentaje mayor, no obstante la tercera iteración ya genera un nivel de porcentaje por encima del 60% el cual es un rango aceptable para una herramienta web.

6.4. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

Objetivo: Implementar la interfaz de usuario en la herramienta digital

6.4.1. Diseño y elaboración de recursos visuales.

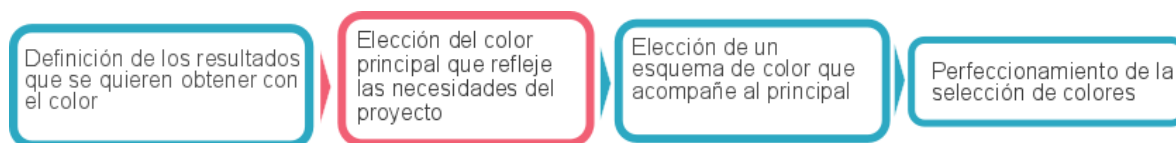
Se configuraron varios estilos que fueron cambiando conforme se avanzaba en el desarrollo del proyecto, en ellos se realizaron modificaciones teniendo en cuenta los resultados obtenidos durante las pruebas con los prototipos. Finalmente el estilo resultante será enseñado a continuación.

6.4.1.1. Color

El estilo general de la herramienta se basa en Flat design (Diseño plano que no cuenta con ningún elemento tridimensional) el cual será dirigido al manejo del flujo y procesos de gestión. Para mejorar el reconocimiento de información se empleó un método de contraste de color⁷² donde predomina la utilización de blanco contrastado con otro color más vivo.

Para la selección de colores de la herramienta se utilizó el siguiente método referenciado en la armonía del color de Bride Whelan²⁵.

Figura 32. Metodología de selección del color



Definición de los resultados a obtener: La elección de la paleta de colores de la herramienta se basó en los siguientes aspectos subjetivos que debe generar la herramienta al usuario si se desea que desarrolle correctamente el proceso:

- El usuario debe poder ubicarse en el campo espacial de la herramienta.

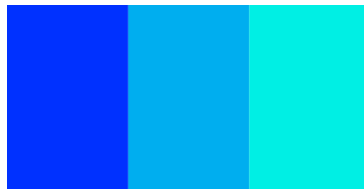
⁷² Bride M Whelan, *La Armonía En El Color - Nuevas Tendencias*, ed. by Rosario Salinas, Arte y dis, 1994.

- Debe poder reconocer cada uno de los iconos planteados.
- Debe expresarle una sensación de tranquilidad y concentración.
- No debe permitir la dispersión de la atención ni generar distracciones fuera del proceso

Elección de un color principal: El color principal se seleccionó en base a un estudio realizado por el grupo Appbot⁷³, donde identificaron los colores más populares de entre 200 aplicaciones para diferentes dispositivos. La selección del color depende del contexto y de la reacción emocional o subjetiva que se quiere generar en el usuario. Del estudio encontraron que el azul y el rojo son los colores más utilizados como color principal en numerosas aplicaciones.

“**Azul:** Aporta serenidad y paz al cliente/usuario, aumenta la productividad. Genera una sensación de seguridad y confianza”⁷⁴. Debido a la emoción que se desea aportar el azul fue seleccionado como color principal.

Figura 33. Muestras de diferentes matices del color



Elección de un esquema de visualización que acompañe al color principal: Se utilizó un esquema de color neutral el cual se refiere al agregado o extracción parcial o total de negro o de blanco en el tono de color seleccionado. El contraste se realizara con el blanco como color negativo y el color principal como positivo.

Perfeccionamiento de la selección de colores: Hay elementos dentro de la herramienta que requieren una atención especial para que el usuario pueda

⁷³ Stuart Hall, 'The Colors of an App Icons', 2015 <stories.appbot.co>.

⁷⁴ Anna Mocholí, 'Diseño de Apps Y La Importancia Del Color', 2015 <www.yeeply.com/blog/disen-de-apps-color>.

realizar sus tareas. Se utilizaron una gama de colores que realcen la atención y ejerzan un mayor contraste.

Figura 34. Ejemplo del contraste general de la herramienta



Figura 35. Código de colore para su localización RGB y hexadecimal

Paleta general				Colores de interés		
Color base						
R:255 G:255 B:255 #ffffff	R:0 G:174 B:239 #00aeef	R:0 G:93 B:129 #005d81	R:91 G:192 B:222 #5bc0de	R:92 G:184 B:92 #5cb85c	R:240 G:173 B:78 #f0ad4e	R:217 G:83 B:79 #d9534f

6.4.1.2. Diagramación

La herramienta debe funcionar en varios dispositivos, esto conlleva a que debe adaptarse a los diferentes tamaños de pantalla, a esto se le conoce como diseño Responsive. Por consiguiente se decidió utilizar una herramienta estándar en el manejo de páginas responsive conocido como Bootstrap.

Bootstrap es un framework creado por twitter que permite crear interfaces web⁷⁵. Cuya particularidad es la utilización de un rejilla modular basada en 12 columnas las cuales se reducen o se apilan una sobre la otra dependiendo del dispositivo, esto puede observarse en la figura 36. De esta manera genera una diagramación que se adapta a cualquier dispositivo.

⁷⁵ Bootstrap contributors Mark Otto, 'Bootstrap', *Bootstrap 4 Alpha 6*, 2017. Disponible en: <<http://getbootstrap.com/>>.

Figura 36. Ejemplo del funcionamiento de Bootstrap



Fuente: Bootstrap contributors Mark Otto, 'Bootstrap', Bootstrap 4 Alpha 6, 2017

El diseño responsive en este framework funciona de la siguiente manera: a cada sección se le asigna un número de columnas para que la información dentro del apartado sea abarcado correctamente en la pantalla del dispositivo. La ventaja que brinda bootstrap es detectar diferentes resoluciones de pantalla, posteriormente permite hacer el cambio de columnas asignadas a una sección en tiempo real para que se adapte a un tamaño específico.

La diagramación de la herramienta se realizó de manera separada para 3 secciones de la misma: La sección de inicio, sección de selección de caso y la sección de desarrollo de proceso, esta última abarca todas las páginas que presenta el contenido de información médica y procesos correspondientes a la pre-planeación.

Para la herramienta se decidió utilizar el siguiente estilo de diagramación basado en el estándar utilizado por bootstrap⁷⁶:

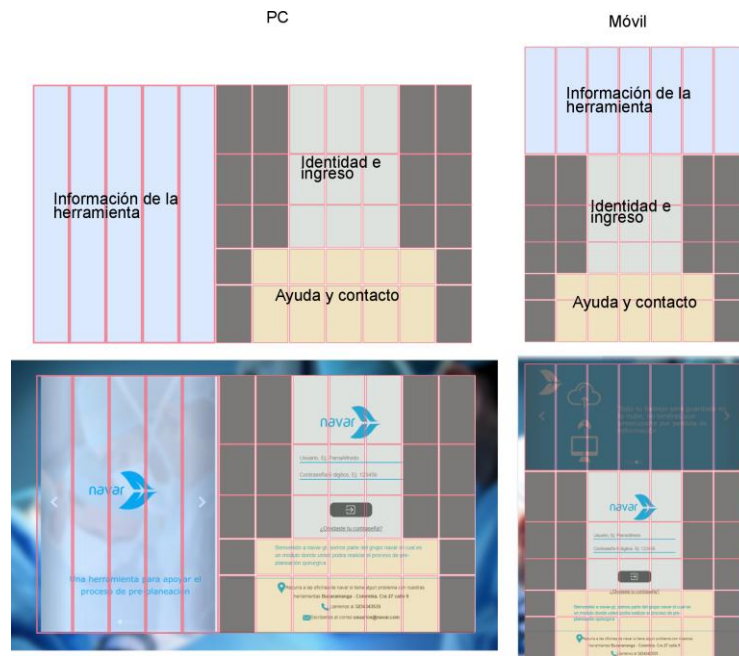
Sección de inicio

En esta sección se presenta un slider con 4 imágenes las cuales brindan un pequeño resumen de lo que puede encontrarse en la herramienta web, se le

⁷⁶ Tutorialrepublic, 'understanding the bootstrap 3 grid system', understanding the bootstrap 3 grid system - tutorial republic, 2017 <<http://www.tutorialrepublic.com/twitter-bootstrap-tutorial/bootstrap-grid-system.php>> [citado en enero 1 del 2017].

brindo un espacio de 5 columnas de las 12, con el objetivo de presentar una similitud a la proporción aurea. Las 7 columnas restantes fueron reservadas para el posicionamiento de la imagen, y de las herramientas de inicio de sesión. En la figura 37 se puede observar la distribución del espacio en las columnas y su modificación para dispositivos móviles.

Figura 37. Diagramación sección de inicio



Sección de selección de caso.

La sección de selección de caso se divide en 4 apartados, a los cuales se les asigno las 12 columnas horizontalmente. “Header” o cabezote donde presenta la información de usuario y brinda las herramientas de control, sección de ayuda que presenta un pequeño texto de información, sección de selección del caso y sección de información de contacto en la zona inferior o “footer”. En la figura 38 se puede observar la distribución del espacio en las columnas y su modificación para dispositivos móviles.

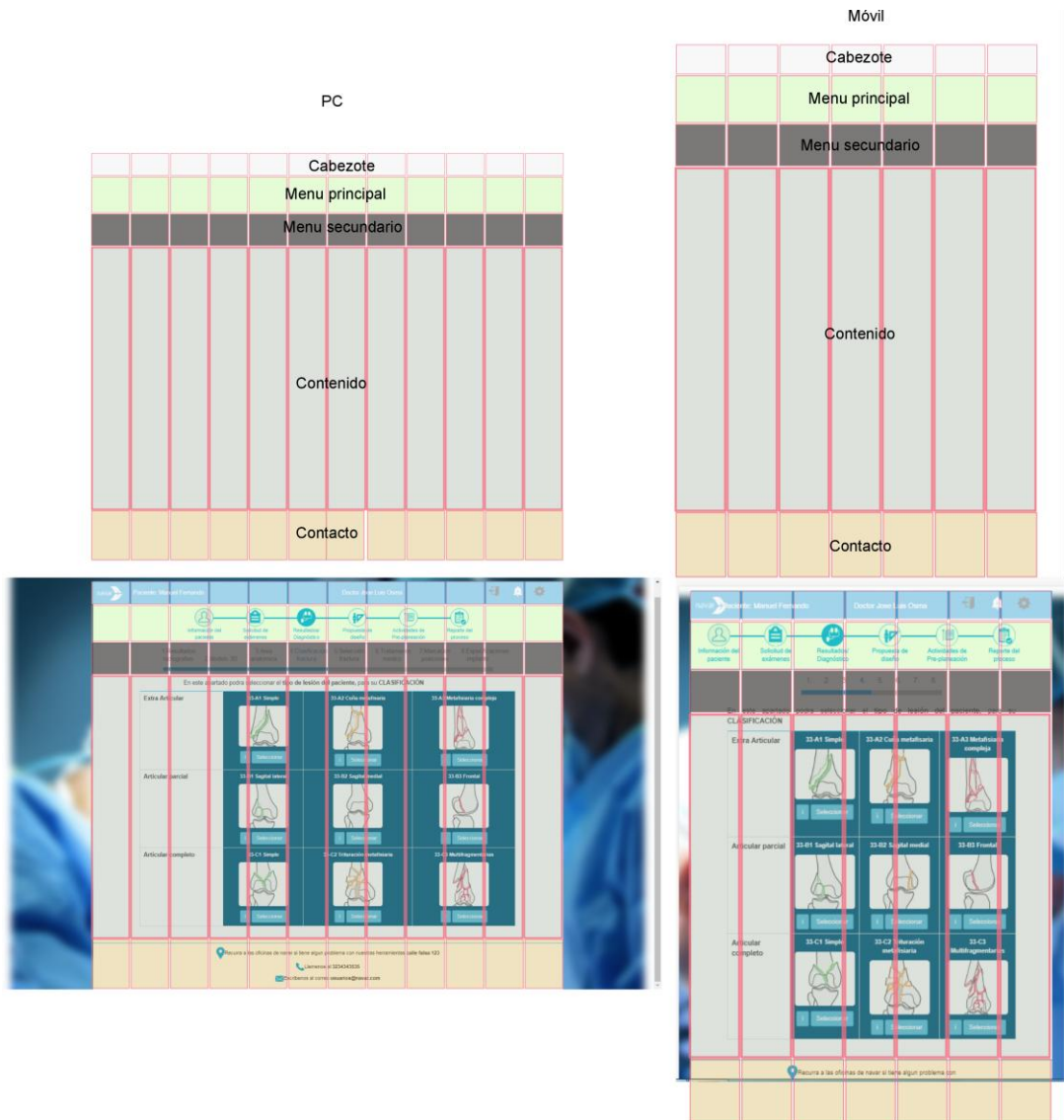
Figura 38. Diagramación sección de selección de caso.



Sección de desarrollo de proceso.

La diagramación de esta sección abarca las demás páginas donde se dividen en 5 apartados. El cabezote, el apartado inferior el cual mantiene las mismas características de la sección de selección del caso, barra de navegación principal, barra de navegación secundaria y contenido. En la figura 39 se puede observar la distribución del espacio en las columnas y su modificación para dispositivos móviles.

Figura 39. Diagramación sección de proceso




Debido al número de botones que presenta las barras de navegación, la información brindada no puede ser observada en dispositivos móviles, por consiguiente al momento de modificarse para poder identificarse en pantallas de resolución menor, la información de cada apartado fue reemplazada por números, que simbolizan el punto del proceso en el que se encuentra el usuario.

6.4.1.3. Imagen de la herramienta

El desarrollo de esta herramienta, hace parte del proyecto NAVAR financiado por COLCIENCIAS. Por consiguiente mantendrá el mismo nombre.

El diseño del isotipo se basó en el manejo de conceptos sobre la pre-planeación, de esta lista se tomaron las que mejor representaran la herramienta digital

- Proceso
 - Planeación
 - Cirugía
 - Gestión
 - Ortopedia
 - Visualización 3D
- 
- Proceso
 - Ortopedia
 - Planeación

En la figura 40 se observa el proceso de bocetación.

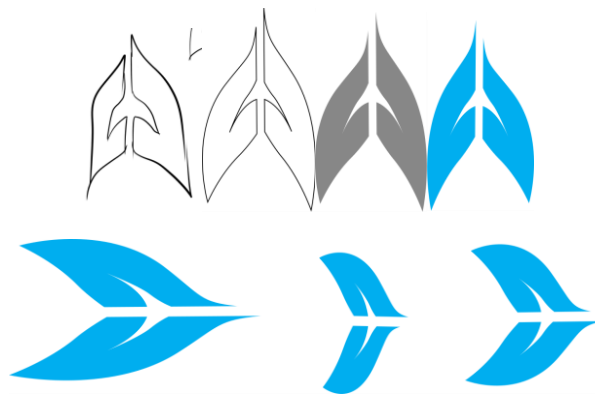
Figura 40. Conceptos iniciales de isotipo



Se tomó la decisión de utilizar el concepto de “**proceso**” el cual gráficamente es representado por “flechas”. Las reconocidas plumas en la parte posterior de las flechas son conocidas como fletchings y es el punto principal para el concepto que se quiere dar a entender.

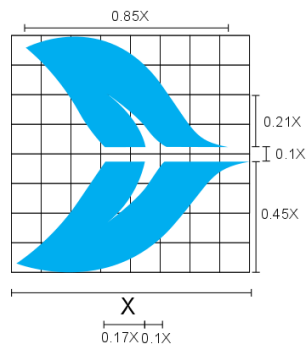
En la figura 41 se observa la primera etapa de presentación del isotipo como un concepto originado de la bocetación. El concepto parte de la utilización del flechting eliminando el cuerpo de la flecha y dejando el espacio que lo compone. Se realizó una diferencia boleana utilizando como objeto de sustracción la punta de la flecha. Se puede observar que mediante la ley de la compleción⁷⁷, del cual se refiere a que si un contorno no está cerrado el cerebro tiende a cerrarlo, tanto el cuerpo como la punta de la flecha pueden ser identificados en la imagen.

Figura 41. Evolución del concepto del isotipo



El tamaño y proporción del isotipo fue desarrollado en función de un cuadrilátero, con el objetivo de que pueda ser utilizado como un “icono” de apertura. En la figura 42 se observa la planimetría del isotipo con las proporciones correspondientes.

Figura 42 Planimetría del isotipo



⁷⁷ Eduardo Serafín Guevara Melo, *Diseño Industrial. Conceptos Para Construcción de La Forma*, U. Industr, 2009.

Figura 43. Muestra del imagotipo



Recomendación.

El isotipo propuesto en la figura 43 fue utilizado como imagen para el desarrollo de la herramienta. El prototipo funcional cuenta con dicho icono, no obstante debido a que la herramienta aún se encuentra en una fase temprana de desarrollo se recomienda la utilización de una abstracción más simple del isotipo para mejorar su reconocimiento como flecha. En la figura 44 se puede observar la modificación correspondiente que será aplicada para el desarrollo a futuro y próximas actualizaciones.

Figura 44. Recomendación de imagotipo

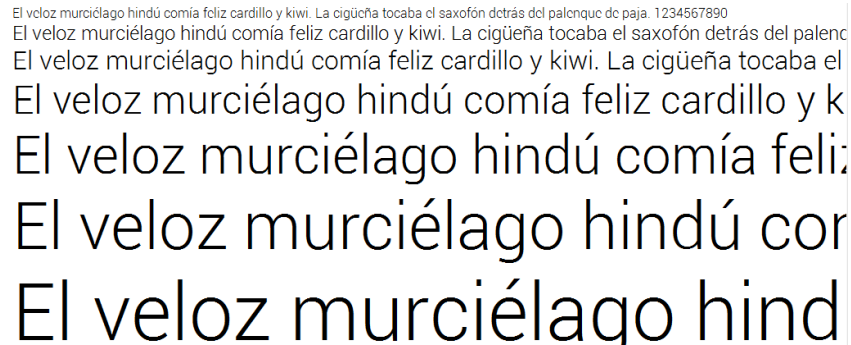


6.4.1.4. Tipografía

Se decidió utilizar la fuente de la familia Roboto: Roboto regular, thin y light. La cual es la fuente estándar de código abierto utilizada por las plataformas Android y

IOS, y es la fuente recomendada para el lenguaje visual de Google debido a su legibilidad y estilo⁷⁸.

Figura 45 Tipografía



El veloz murciélago hindú comía feliz cardillo y kiwi. La cigüeña tocaba el saxofón detrás del palenque de paja. 1234567890
El veloz murciélago hindú comía feliz cardillo y kiwi. La cigüeña tocaba el saxofón detrás del palenque de paja. 1234567890
El veloz murciélago hindú comía feliz cardillo y kiwi. La cigüeña tocaba el saxofón detrás del palenque de paja. 1234567890
El veloz murciélago hindú comía feliz cardillo y kiwi. La cigüeña tocaba el saxofón detrás del palenque de paja. 1234567890
El veloz murciélago hindú comía feliz cardillo y kiwi. La cigüeña tocaba el saxofón detrás del palenque de paja. 1234567890
El veloz murciélago hindú comía feliz cardillo y kiwi. La cigüeña tocaba el saxofón detrás del palenque de paja. 1234567890
El veloz murciélago hindú comía feliz cardillo y kiwi. La cigüeña tocaba el saxofón detrás del palenque de paja. 1234567890
El veloz murciélago hindú comía feliz cardillo y kiwi. La cigüeña tocaba el saxofón detrás del palenque de paja. 1234567890

6.4.2. Diseño del sistema

El desarrollo del sistema se realizó en conjunto con el proyecto de grado: HERRAMIENTA DE SOFTWARE PARA ASISTIR LA ETAPA DE PRE PLANEACIÓN QUIRÚRGICA ORTOPÉDICA DE IMPLANTES AJUSTADOS A LA GEOMETRÍA ÓSEA. Desarrollado por la estudiante de ingeniería de sistemas MARIA ANGÉLICA LUNA AYALA.

Para el desarrollo de la herramienta se utilizaron las siguientes plataformas de desarrollo:

Eclipse ®: Programa de código abierto multiplataforma que permite la integración de diferentes lenguajes de programación y administración del proyecto.

Framework SPRINGS: Debido a que la herramienta va dirigida a un entorno web se decidió manejar una arquitectura **JAVA**. Por ende para llevar a cabo el desarrollo era necesario la utilización de un framework. **Framework** es un

⁷⁸ Roozbeh Pournader, 'Roboto: Google's Signature Font Is Now Open Source', 2015. Disponible en: <opensource.googleblog.com/2015/05/roboto-googles-signature-font-is-now.html>.

conjunto de artefactos o módulos concretos de software que puede servir de base para la organización y desarrollo de proyectos web. Típicamente, puede incluir soporte de programas, bibliotecas, y un lenguaje interpretado. En un proyecto es común la utilización de un gran número de frameworks con el objetivo de tener una biblioteca amplia que facilite el desarrollo. Se decidió la utilización del framework Springs debido a que permite la organización e interacción de los demás frameworks.

Framework BOOTSTRAP: Es una herramienta que facilita la aplicación de estilos a un proyecto web de manera responsive, es decir diseño adaptable al tamaño de pantalla de los dispositivos.

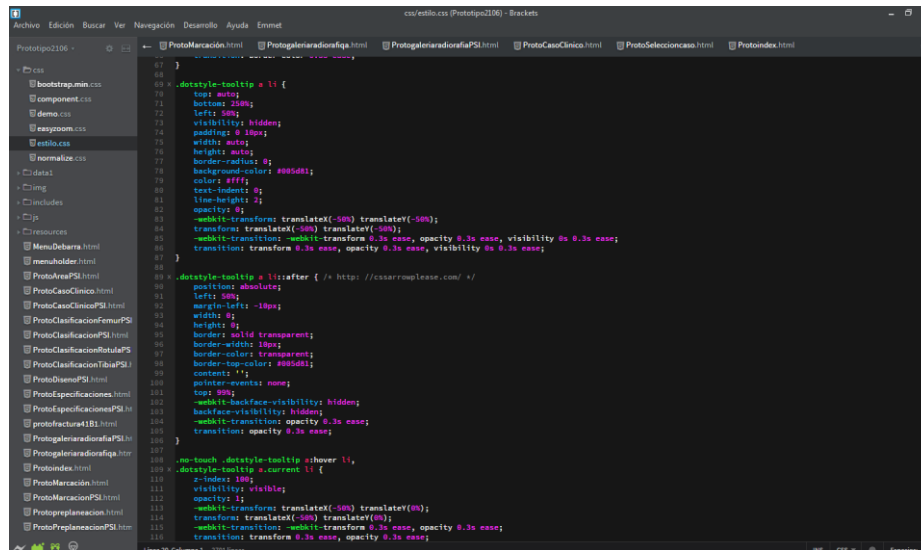
MySQL: Es un sistema de gestión de base datos de código abierto. El cual organiza y permite la gestión de usuarios, información y archivos del proceso.

Unity®: Es un motor gráfico desarrollado por Unity Technologies destinado a la creación de videojuegos. En el proyecto se decidió utilizar este motor para el desarrollo del visualizador 3D de reconstrucción anatómicas, debido a su capacidad de interpretación y renderizado en tiempo real de modelos 3D

Realización de la hoja de estilo

La hoja de estilos es la manera como el navegador web interpreta la estructura y apariencia de una página web. Por ende para el desarrollo de la herramienta se planteó una hoja de estilo en formato CSS que contenía todos los conceptos de arquitectura y presentación visual con el fin de facilitar su aplicación en el sistema. En la figura 46 se puede observar un ejemplo de hoja de estilo realizado en lenguaje CSS apoyado en la estructura HTML.

Figura 46. Hoja de estilo



6.4.3. Desarrollo de la herramienta

El desarrollo de la herramienta está dividida en 2 áreas: El área web, y el área del visualizador.

Área web

La herramienta fue desarrollada aplicando la estructura de la arquitectura de información planteada durante el desarrollo del proyecto. Utilizando una arquitectura en JAVA se desarrolló la plataforma de manera Dinámica lo que hace que la página web se modifique dependiendo del usuario y del caso clínico en específico.

La interfaz gráfica se trabajó utilizando el **framework BOOTSTRAP** con el cual se generó un proyecto de estilos CSS que se podía implementar en la estructura java utilizando Eclipse.

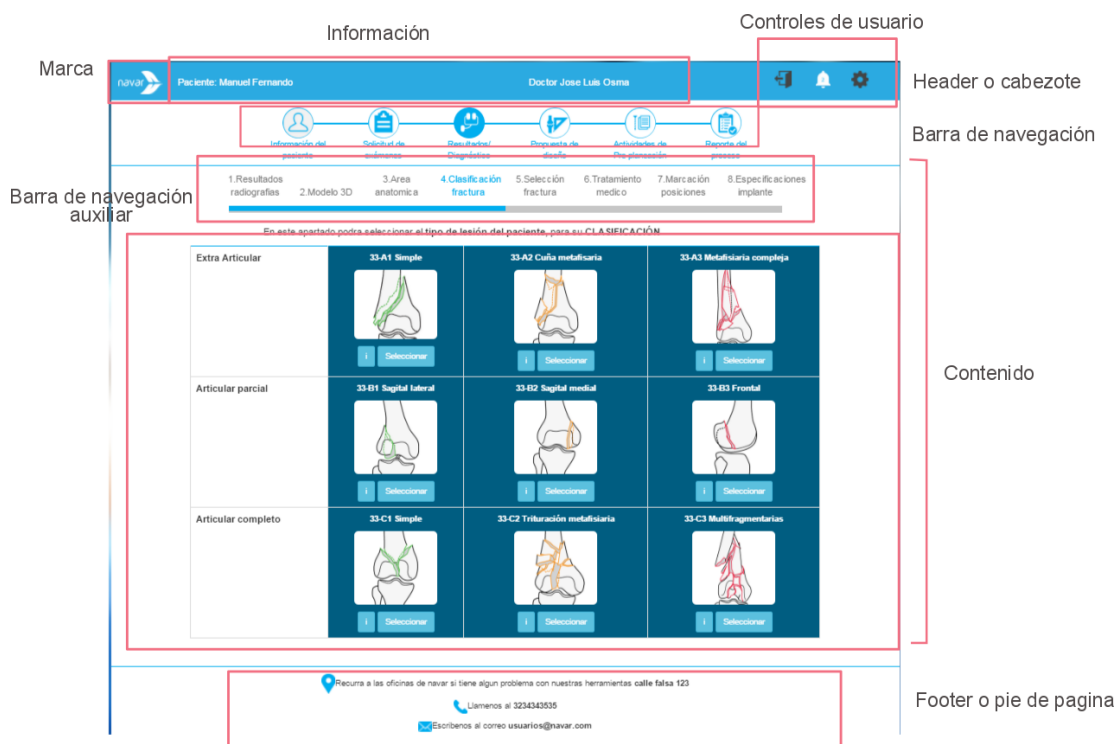
Figura 47. Estructura página de inicio



Para la página de inicio observada en la figura 47, se dispuso una estructura de 2 columnas que abarcan una proporción aurea. La columna de la izquierda dispone de información que presenta un breve resumen del contenido de la herramienta digital. La columna de la izquierda contiene las herramientas de ingreso además de información de contacto con la empresa desarrolladora de la herramienta.

La estructura general de las páginas de contenido de la herramienta web se basó en la configuración de **Header**, **Barra de navegación Horizontal**, **contenido y footer**. Observado en la figura 48.

Figura 48. Estructura general de la herramienta digital área web



Las diferentes pantallas que conforman la interfaz final de la herramienta general puede observarse en el **Anexo M**.

Área del visualizador

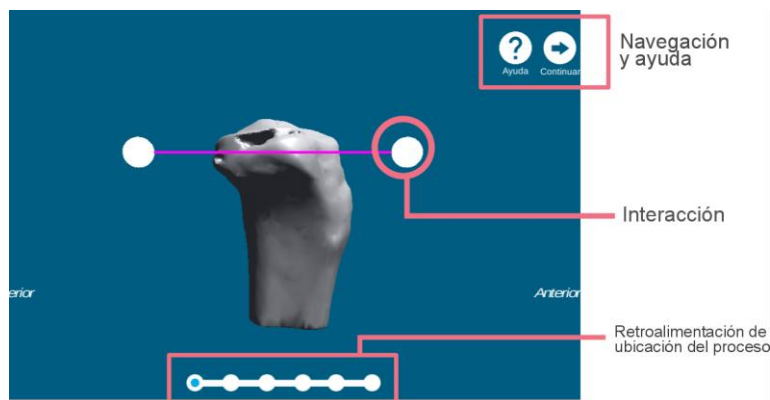
El visualizador 3D es la plataforma por el cual el ortopedista podrá visualizar la anatomía del paciente representada en un modelo tridimensional. Para que esto sea posible, el usuario diseñador debe brindar la correspondiente reconstrucción 3D utilizando las tomografías o resonancias magnéticas y aplicando su metodología correspondiente. Los modelos 3D generados por el diseñador deben ser acondicionados con el propósito de que la herramienta digital pueda interpretarlos, por ende se desarrolló y comprobó un PROTOCOLO de preparación de modelos 3D (**Ver Anexo F**)

El visualizador destinado a LCA fue desarrollado en base a una secuencia de pasos aplicando los métodos de ubicación de puntos mencionados en el numeral

5.2.2.1 **Recopilación de información.** El usuario tiene restricciones en cuanto a que interacciones debe realizar y es guiado paso a paso durante todo el proceso. El usuario cuenta con **múltiples puntos** de vista de acuerdo a la etapa del proceso que esté desarrollando.

Pantalla 1: Se renderiza la tibia en una posición lateral, el usuario en esta pantalla debe posicionar el ángulo del cuadrante que será usado en la siguiente pantalla utilizando los círculos blancos como controles de movimiento.

Figura 49. Estructura general del visualizador 3D LCA



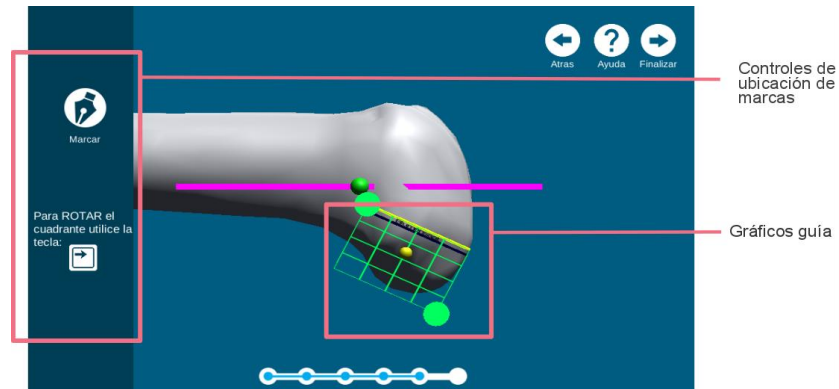
Pantalla 2: La rodilla es posicionada en una vista superior, el usuario debe manipular el cuadrante hasta que observe que este cubre el perímetro del platillo tibial. Una vez realizado esto marcar la primera posición del túnel.

Pantalla 3: Con la primera posición ya marcada se le presenta al usuario la posibilidad de especificar un ángulo. De esta manera se calcula la posición final del túnel.

Pantalla 4: Se renderiza el fémur en una posición frontal, el usuario debe posicionar el “reloj” en la zona intercondilar del fémur utilizando los controles marcados. Posteriormente seleccionar marcar y posicionar el primer plano de la entrada del túnel femoral.

Pantalla 5: El fémur se coloca en una posición lateral, y el usuario debe posicionar el cuadrante de acuerdo a la línea de blumensaat. Luego se debe marcar la posición de entrada del túnel femoral, de inmediato se le presentara al usuario la posición de salida del túnel donde deberá decidir su ubicación final.

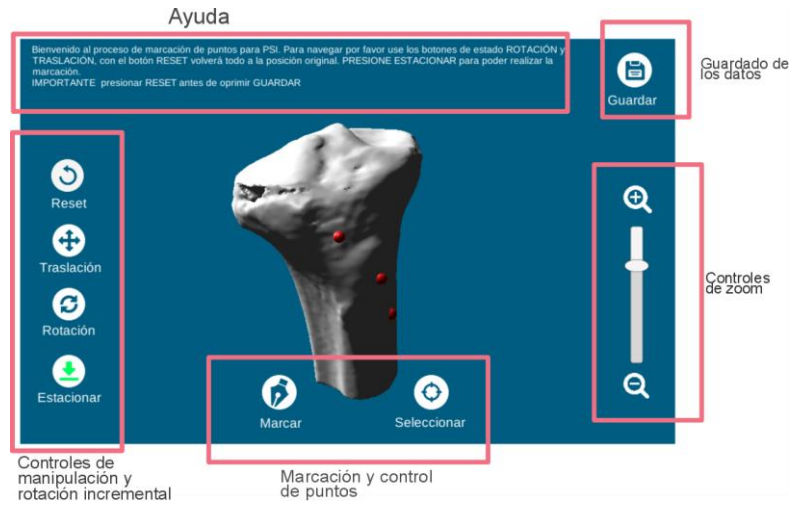
Figura 50. Estructura general controles adicionales LCA



El visualizador PSI a diferencia del LCA solo utiliza una fase para realizar el proceso. Le permite a los usuarios una capacidad de interacción más amplia, lo que facilita su observación desde diferentes puntos de vista, de esta manera colocar diferentes marcas que hagan referencia a posiciones anatómicas de interés para el diseño de un implante personalizado.

Para la rotación se optó por el manejo de una sola cámara, que le permita al usuario rotar libremente la geometría ósea, conservando el control utilizando la técnica de **Rotación incremental**.

Figura 51. Estructura general del visualizador 3d PSI

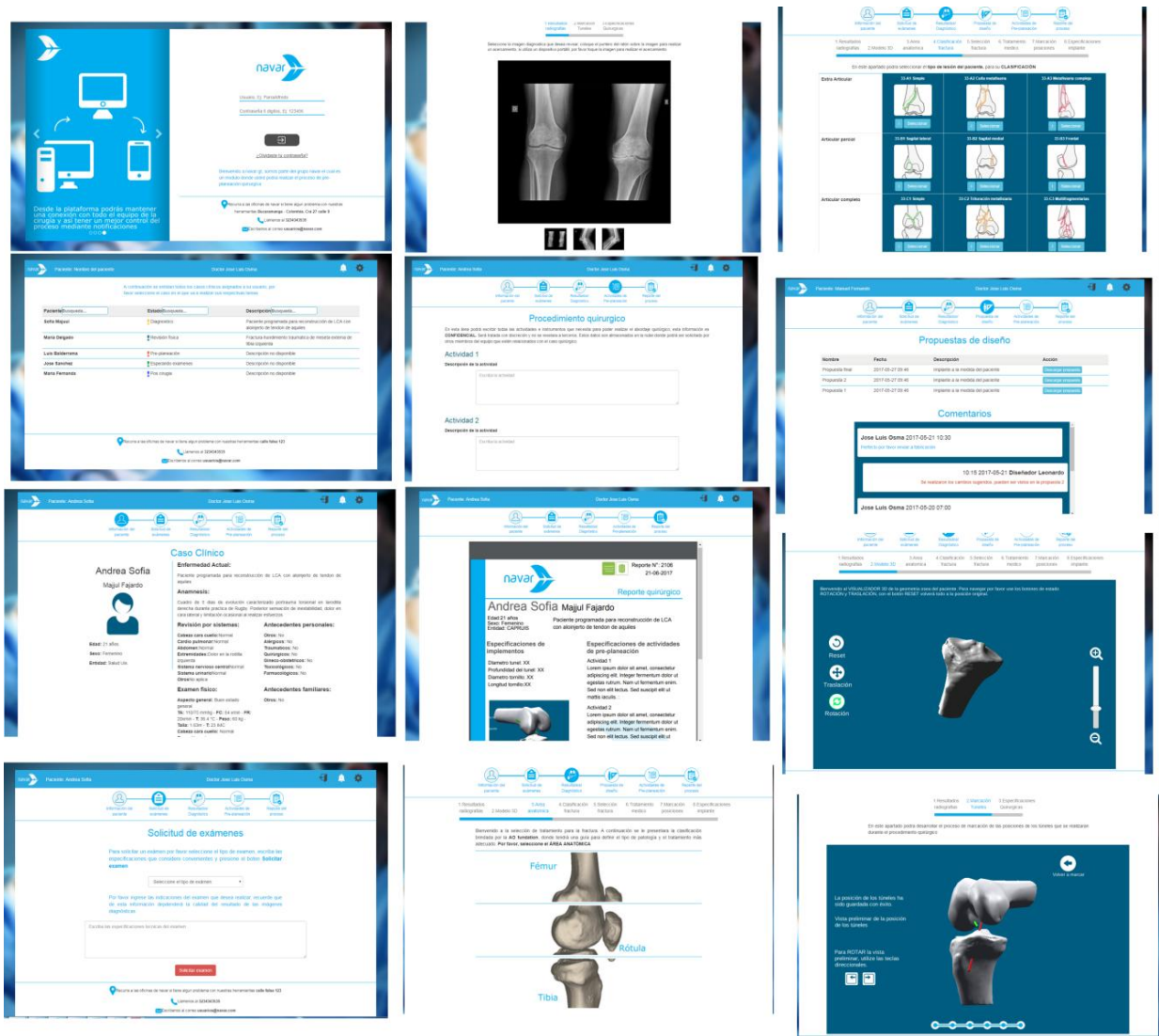


Se utilizaron metáforas en los iconos y texto para facilitar su reconocimiento, no obstante se le agrego un párrafo de ayuda que contextualiza el proceso y brinda información a tener en cuenta para la marcación de puntos. La selección del modelo se realiza mediante **picking** y **selección por objetos**.

Capturas de la interfaz

En la figura 52 se pueden observar la interfaz gráfica final de la herramienta digital de pre-planeación navar.

Figura 52. Capturas de la interfaz



7. FASE 3 VALIDACIÓN

Tabla 22. Esquema de proceso de la fase 3: Validación

Tareas	* Desarrollar el plan de la prueba * Selección de participantes * Preparar los materiales	* Llevar a cabo las pruebas * Captación de datos * Transformación de datos en recomendaciones de diseño
Resultado	Documento de diseño de la prueba	Informe de resultados de las pruebas con usuarios

Cada comprobación de los prototipos realizados durante el desarrollo de la herramienta, fueron ejecutados mediante el modelo de pruebas mencionado a continuación, del mismo modo cada prueba realizaba contaba con un objetivo diferente el cual fue especificado en los apartados correspondientes.

Este desarrollo está planteado para las pruebas finales de la herramienta digital.

7.1. DISEÑO DE PRUEBAS

Se realizaron pruebas para dos casos:

- Reconstrucción de LCA
- Fractura de platillo tibial que requiere implante personalizado

7.1.1. Desarrollo del plan de pruebas

Los participantes fueron citados en sus respectivas oficinas para simular un contexto real de la utilización de la herramienta. Realizaron cada tarea en sus equipos, si no contaban con uno se les administró uno. El plan de pruebas fue documentado. **Ver anexo B.**

Del mismo modo al final de las pruebas se realizó una evaluación utilizando el formato de pruebas de usabilidad heurística orientada a herramientas de servicios web **SIRIUS**⁷⁹. El cual puede observarse en el **Anexo L FORMATO DE EVALUACIÓN HEURISTICA SIRIUS**

Objetivo: Evaluar la eficacia, eficiencia y satisfacción del usuario con respecto al desarrollo de tareas en la herramienta digital.

7.1.2. Selección de los participantes

Los participantes seleccionados para las pruebas finales de la herramienta digital fueron 4; 2 Diseñadores Industriales que trabajan en el campo de Implantes que se ajustan a la geometría ósea del paciente y 4 médicos especialistas en ortopedia.

Médicos Ortopedistas: Jose Luis Osma, Celso Pedraza, Jorge Enrique Marin Niño, Victor Irreño.

Diseñadores industriales: María Fernanda Gonzales y Andrea Murillo, Diseñadoras Industrial del área de PSI

7.1.3. Preparación de los materiales necesarios

Los materiales necesarios para la realización de las pruebas son:

- Formato conclusión de tareas y medición del tiempo (**Ver Anexo C**)
- Encuesta de satisfacción (**Ver Anexo D**)
- Hojas blancas

⁷⁹ Suárez, Ma del Carmen, 'Sistema de Evaluación de La Usabilidad Web Orientado Al Usuario Y Basado En La Determinación de Tareas Críticas', *Universidad de Oviedo*, 2011, 200.

- Material de escritura (Lápices, bolígrafos)
- Cámara GoPro, para toma de datos
- Celular para grabación de audio

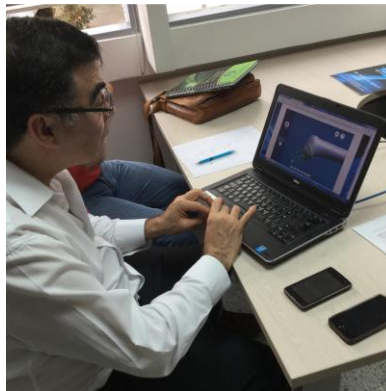
7.2. LLEVAR A CABO LAS PRUEBAS

Objetivo: Observar y analizar a los usuarios mediante el desarrollo de las pruebas, de esta manera tener la capacidad de encontrar errores en la interfaz.

7.2.1. Realización de la prueba

Se realizaron 2 pruebas preliminares con el Medico Jose Luis Osma, el cual se le solicito que realizara el proceso de pre-planeación para Ligamento cruzado. Estas pruebas tuvieron como objetivo, encontrar fallos en el sistema que impidieran la culminación del proceso.

Figura 53. Prueba preliminar



La herramienta se modificó de acuerdo a los fallos observados, y se realizó la prueba a los demás usuarios mencionados en el numeral 7.1 Diseño de pruebas, los cuales tuvieron que realizar una serie de tareas expuestas en la tabla 20. A cada tarea se le asignó un punto donde es considerada finalizada de esta manera evaluar el número de tareas terminadas al primer intento. Estas fueron pruebas de

validación donde se evaluaron los atributos de eficacia, eficiencia y satisfacción. Estándar ISO 9241-11⁸⁰. Ver **tabla 23**.

Resultados prueba preliminar

En esta prueba se encontraron los siguientes errores bloqueantes del flujo:

- La visualización 3D de la marcación LCA cuenta con un modelo de rodilla derecha, mientras que el proceso estaba configurado para rodilla izquierda.
- Es importante para el medico observar la reconstrucción 3D antes de tomar cualquier decisión, se planteó agregar un visualizador más en el que se podrá acceder justo antes de realizar el proceso de diagnóstico.
- El número de fracturas y tratamientos brindados por la AO fundacion no siempre representan la naturaleza exacta de la patología del paciente, por ende, se recomendó la adición de un cuadro de texto donde le permite al usuario agregar información extra.

Figura 54. Pruebas de usabilidad



⁸⁰ ISO, 'Ergonomic Requirements for Office Work with Visual Display Terminals (VDTs)-Part 11: Guidance on Usability';, 1998.

Tabla 23. Tabla de atributos y métricas a evaluar

Atributo	Métrica
Eficacia	*Numero de tareas realizadas *Porcentaje de tareas realizadas al primer intento
Eficiencia	Tiempo transcurrido en cada tarea
Satisfacción	*Percepción subjetiva de la herramienta *Nivel de dificultad

7.2.2. Prueba reconstrucción de ligamento cruzado anterior

Tabla 24. Tabla de especificación de tareas para la prueba con usuario ortopedista LCA

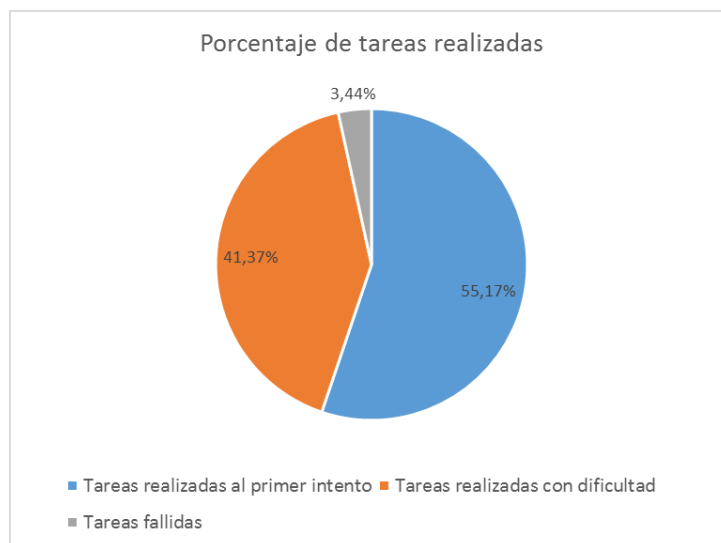
Prueba ortopedista LCA	
Tarea	Punto donde se considera finalizada
Ingresar como usuario a la aplicación.	Presionar el botón de login
Seleccionar el caso clínico referente a LCA	Presionar sobre la tabla en el caso correspondiente a LCA
Observar el caso clínico del paciente.	Leer la información final de ese caso
Solicitar los exámenes pertinentes.	Seleccionar el botón que envía el formulario de solicitud de exámenes
Observar radiografías.	Seleccionar una de las radiografías de la galería
Realizar el proceso de marcación.	Seleccionar el botón de guardar puntos
Escribir las especificaciones pertinentes e instrumentos del abordaje quirúrgico.	Seleccionar el botón de guardar instrumentos
Observar el reporte final de la intervención.	Desplazar el scroll de la página PDF

7.2.2.1. Captación de datos

Resultados Eficacia y Eficiencia

La eficacia se evaluó en el porcentaje de tareas que se realizó con éxito y la eficiencia se evaluó en el tiempo que le tomo al usuario realizar cada tarea (**Ver anexo C**).

Figura 55. Resultados prueba Eficacia ortopedista LCA

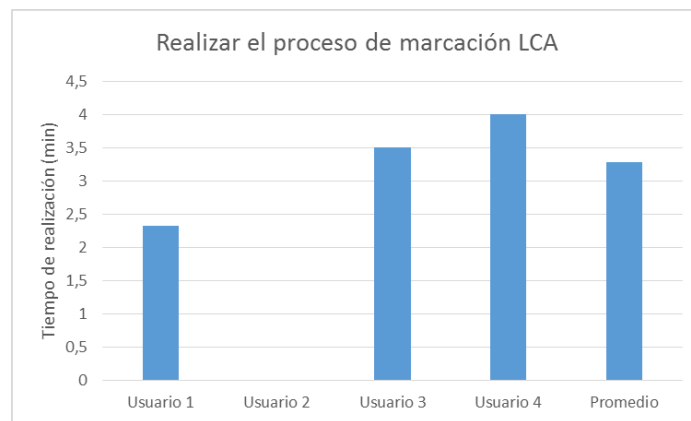
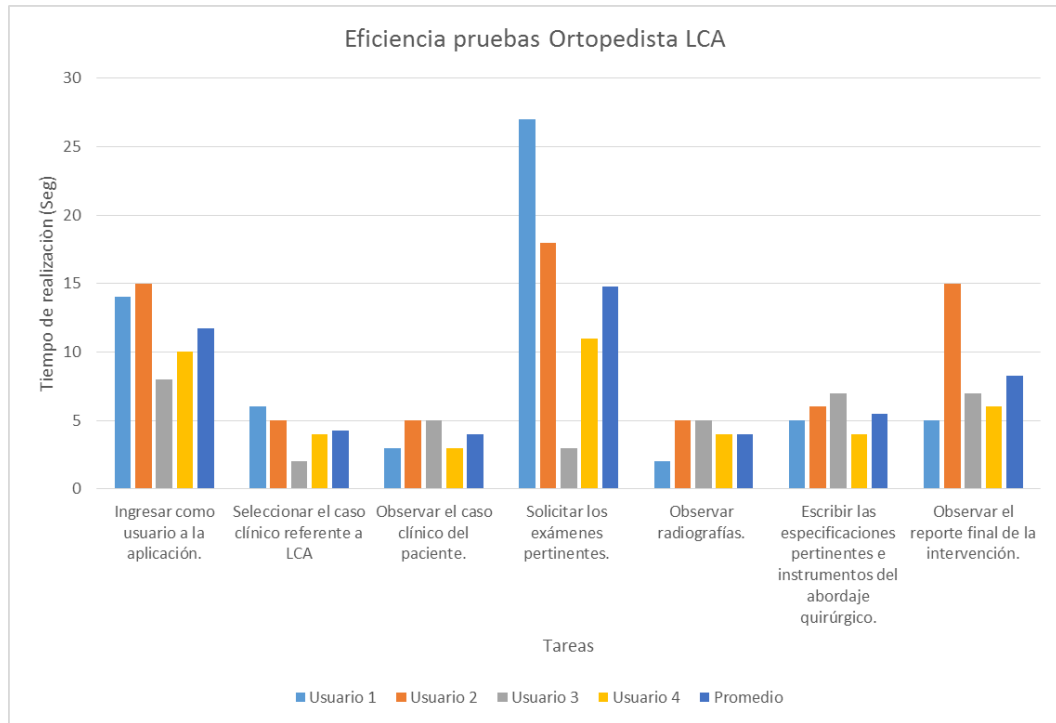


Análisis de resultados Eficacia

Se puede observar en la figura 55 que el 96.54% de las tareas realizadas fueron culminadas con éxito, el 3% restante se debe a que uno de los usuarios ortopedistas no pudo completar una tarea referente a la ubicación de túneles en el visualizador 3D para LCA.

La mayoría de las tareas pudieron completarse al primer intento dando a entender que muchas de las decisiones de interfaz están bien encaminadas, sin embargo, en el 41% de las tareas se presentaron errores a la hora de culminarlas. Esto es debido a que en distintas áreas la información no es lo suficientemente clara para que terminara la tarea sin errores.

Figura 56. Resultados prueba Eficiencia ortopedista LCA



Análisis de resultados eficiencia

El porcentaje de tareas realizadas muestra que la herramienta puede cumplir con el flujo de pre-planeación quirúrgica. No obstante, se observaron los siguientes inconvenientes enfocados en las tareas que registraron un número mayor de tiempo y las tareas que no fueron cumplidas:

Tarea. Ingresar como usuario a la aplicación: Esta tarea es la que por promedio, ha registrado el segundo mayor tiempo de ejecución. La manera de introducir la información de la cuenta es similar a las diferentes herramientas web que requieren usuario y contraseña, el error se debió al modo de codificación de las cuentas de usuario, el cual no fue entendido claramente por los participantes antes del ingreso a la herramienta web.

Tarea. Solicitar exámenes: El gesto y la información propuesta para la selección del tipo de examen no fueron los más apropiados, los usuarios tendían a ignorar este paso e ir directamente a escribir las especificaciones. Este error se debió al tipo de selección propuesto, el cual no era muy familiar para los usuarios ortopedistas, se plantea para un próximo avance el cambio por un gesto diferente que pueda ser más claro y familiar.

Tarea Proceso de marcación LCA: Esta tarea es la que requiere una mayor atención para poder ejecutarla correctamente. El proceso cuenta con un tutorial o “ayuda” que guía al médico en cada uno de los pasos necesarios para realizar la ubicación de puntos, no obstante, uno de los ortopedistas no pudo completar la tarea. El inconveniente se derivó del modo en que se presenta el tutorial, ya que este cuenta con imágenes que intentan ayudar al usuario, pero al mismo tiempo confundieron al ortopedista ya que este supuso que las interacciones se realizaban en dicha imagen.

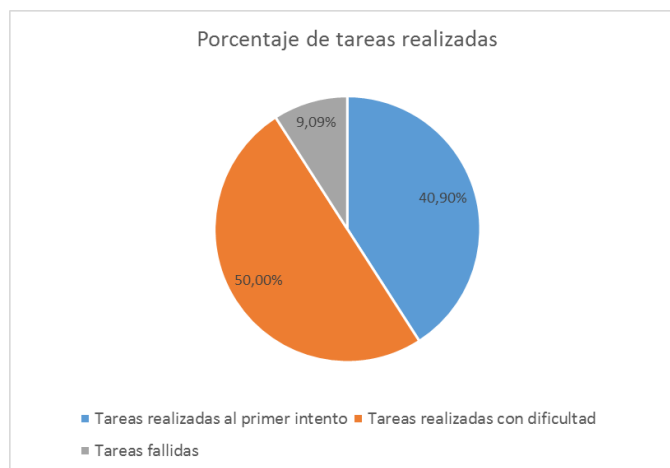
7.2.3. Prueba fractura de platillo tibial que requiere de implante personalizado

Tabla 25. Tabla de especificación de tareas para la prueba con usuario ortopedista PSI

Prueba ortopedista PSI	
Tarea	Punto donde se considera finalizada
Ingresar como usuario a la aplicación.	Presionar el botón de login
Seleccionar el caso clínico referente a PSI.	Presionar sobre la tabla en el caso correspondiente a PSI
Observar el caso clínico del paciente	Leer la información final de ese caso
Solicitar los exámenes pertinentes	Seleccionar el botón que envía el formulario de solicitud de exámenes
Realizar la selección de trauma referente a la AO fundation	Seleccionar el botón de "proceder"
Realizar la selección del tratamiento de acuerdo a la AO fundation.	Realizar la selección del tratamiento de acuerdo a la AO fundation
Realizar el proceso de marcación para diseño de implante	Seleccionar el botón "guardar" para finalizar la marcación
Escribir especificaciones pertinentes	Seleccionar el botón de guardar instrumentos
Observar y descargar propuesta del diseñador entorno al PSI	Seleccionar el botón de descarga
Comentar su opinión acerca de las propuesta	Presionar botón de comentar
Observar el reporte final de la intervención.	Desplazar el scroll de la página PDF

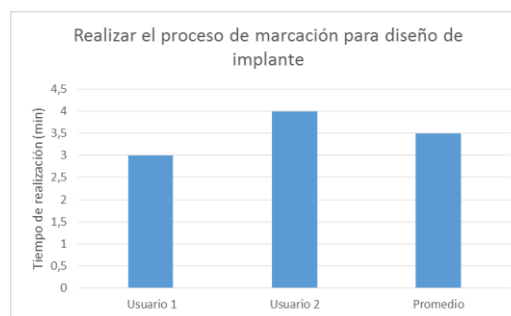
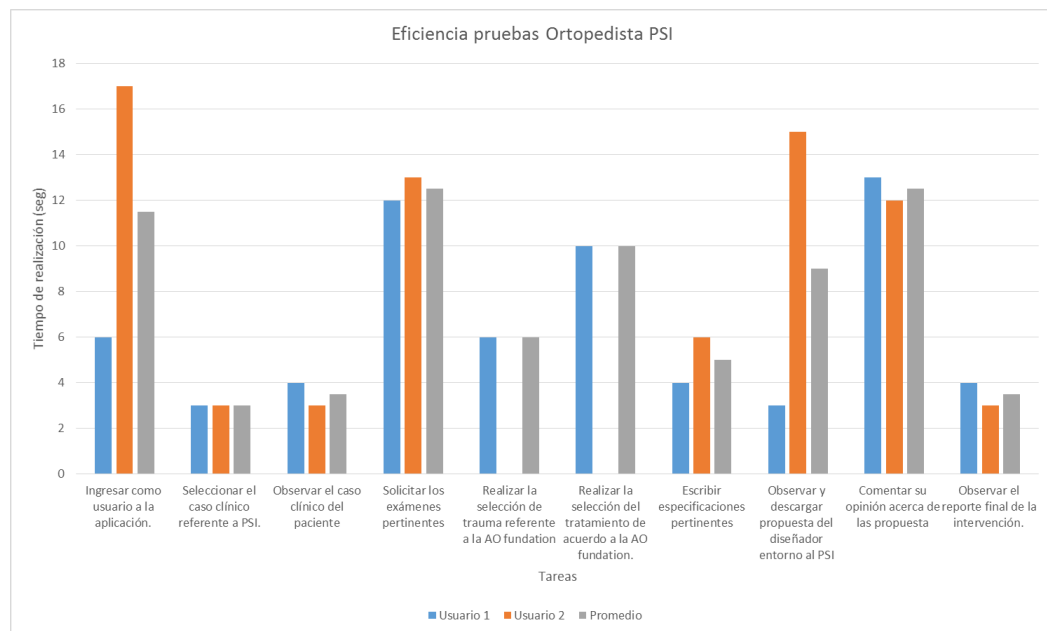
7.2.3.1. Captación de datos

Figura 57. Resultados prueba Eficacia ortopedista PSI



En la figura 57 se puede observar que el 50% de las tareas fueron realizadas con dificultad, se concluye que las decisiones de interfaz aplicadas a la herramienta no son lo suficientemente claras para que se produzca un flujo constante y sin fallos, no obstante las tareas pudieron culminarse con éxito. El 9% de tareas fallidas se debe a que uno de los usuarios no pudo realizar 2 tareas en específico, las cuales son la selección de fractura y tratamiento.

Figura 58. Resultados prueba Eficiencia ortopedista PSI



Análisis de resultados eficiencia

Tarea. Solicitar exámenes: Del mismo modo que en las pruebas de LCA, el gesto y la información propuesta para la selección del tipo de examen no fueron

los más apropiados, los usuarios tendían a ignorar este paso e ir directamente a escribir las especificaciones.

Tarea Selección de fractura y tratamiento: Uno de los ortopedistas no pudo completar esta tarea. Desde el principio el usuario menciona que la fractura en concreto, mostrada en la visualización anteriormente presentada, no se encontraba dentro de la lista para seleccionar, por ende no seleccionó ninguna y no continuo con el flujo. Para este tipo de casos existía un cuadro de texto donde le permitía agregar información extra si no encontraba la deseada en la lista de selección, el ortopedista no diviso el cuadro o lo omitió.

Tarea comentarios ortopedista-diseñador: El inconveniente en esta tarea se derivó a la poca importancia visual que se le dio al apartado de comentarios. Lo usuarios observaban el apartado donde se descargaba la propuesta del diseñador pero no localizaban el cuadro de texto donde debían agregar los comentarios de dicha propuesta. Esto se acentúa cuando hay más de 2 comentarios, ya que al ocupar más espacio desplaza el cuadro de texto fuera de la visión.

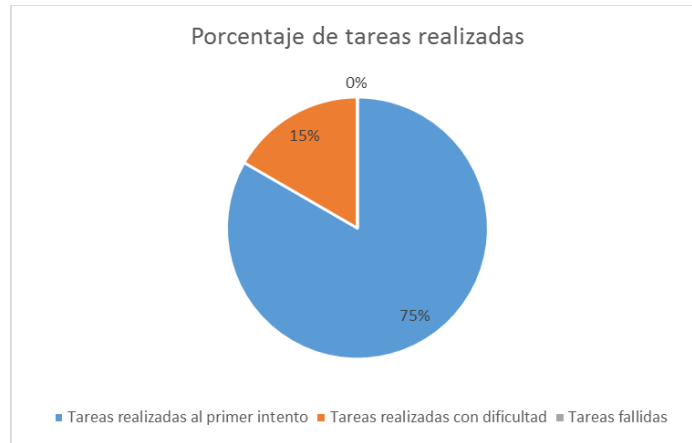
7.2.4. Prueba Diseñador

Tabla 26. Tabla de especificación de tareas para la prueba con usuario diseñador

Prueba Diseñador	
Tarea	Punto donde se considera finalizada
Ingresar como usuario a la aplicación	Presionar el botón de login
Descargar las tomografías subidas por el radiólogo	Presionar el botón naranja de descarga
Subir las respectivas reconstrucciones	Presionar el botón de enviar
Observar el diagnostico enviado por el ortopedista	Leer el diagnostico
Crear una nueva propuesta	Presionar el botón de nueva propuesta
Enviar los archivos pertinentes a esa propuesta	Presionar el botón de envió de formulario
Observar los comentarios del ortopedista y responder.	Presionar botón enviar

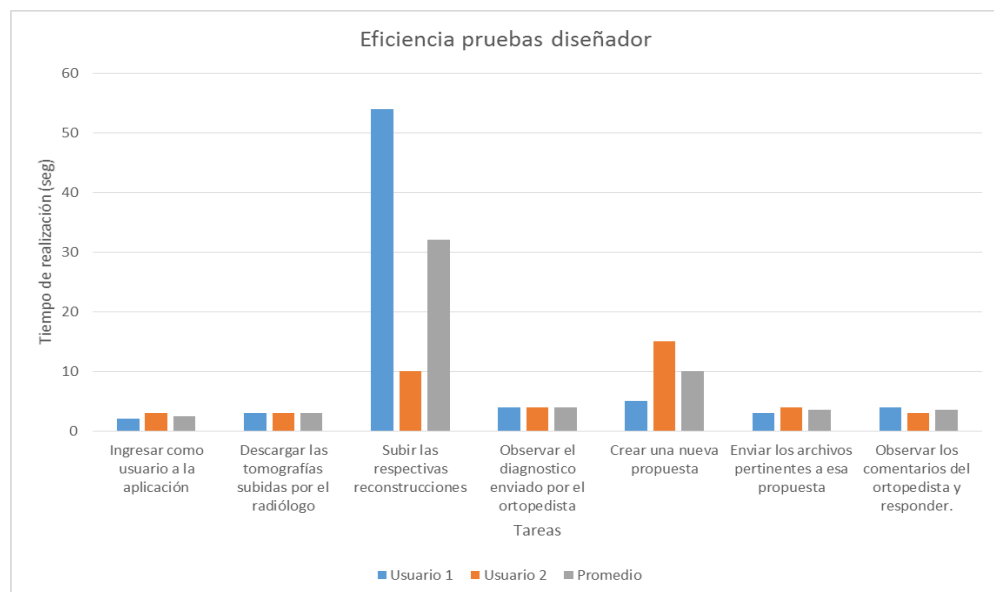
7.2.4.1. Captación de datos

Figura 59. Resultados prueba Eficacia diseñador



En la figura 59, se puede observar que en las pruebas con diseñadores no se obtuvo ninguna tarea fallida. El 75% de las tareas fueron realizadas al primer intento, solo el 15% tuvieron alguna dificultad en su culminación. Esto puede deberse a que los usuarios diseñadores están más familiarizados con la utilización de diversos sitios web como de aplicaciones móvil y se les facilita la utilización de la herramienta.

Figura 60. Resultados prueba Eficiencia diseñador



Análisis de resultados eficiencia

El tiempo promedio de las tareas rondan los 3 segundos, se puede observar que los usuarios diseñadores comprendieron la información suministrada y pudieron realizar el flujo satisfactoriamente.

Tarea subir reconstrucciones: Los diseñadores pudieron cumplir esta tarea satisfactoriamente, el problema radica en su tiempo de culminación, el cual fue demasiado elevado para el número de interacciones que se necesita para realizarla. Esto es debido a La manera de organización que se propuso para cargar los 2 archivos correspondientes, los cuales no brindan la suficiente retro alimentación.

7.2.5. Pruebas de satisfacción

La prueba de satisfacción se realizó utilizando un método estudiado por Hassenzahl Marc⁸¹. El cual es aplicado en una herramienta web AttrackDiff. El método permite evaluar la percepción de un producto por medio de atributos pragmáticos propios del producto. Para la evaluación se seleccionaron de la lista de attrackdiff las palabras que mejor describan a la herramienta digital, de esta manera centralizar en los datos que nos brinden mayor información útil.

Resultados

Cuadro comparativo de los valores seleccionados por los 6 usuarios que realizaron la prueba. Esta prueba se le realizo en conjunto con los 2 casos: Reconstrucción de ligamento cruzado anterior y fractura de platillos que requieren de implante personalizado.

Cada par de palabras del modelo Attrakdiff cuenta con un rango de 7 números, a los cuales se les asigno un valor desde -3 hasta 3. Dando a entender que los

⁸¹ Marc Hassenzahl, 'The Thing and I: Understanding the Relationship Between User and Product BT - Funology: From Usability to Enjoyment', ed. by Mark A Blythe and others, 2005, pp. 31–42.

valores por debajo de cero se refieren a las elecciones de rangos de palabras negativas (In-placentero, Inútil) y los que se encuentran por encima de cero, los rangos positivos. La figura 54 presenta una curva que se interpreta como el promedio de las elecciones realizadas por los usuarios.

Figura 61. Representación de los resultados de la prueba de satisfacción



Resultados evaluación Heurística SIRIUS

El formato referente a la evaluación Heurística puede ser observado en el **Anexo J Formato de evaluación Heurística SIRIUS**. El porcentaje de usabilidad es de **79.44%**.

Análisis de resultados prueba satisfacción

En cuanto a la satisfacción se puede observar que entre los ítems más altos obtenidos de la percepción de los usuarios fueron **Profesional, bonito, agradable e interesante**. Donde se evidencia una aceptación estética de la herramienta.

Inútil-practico: Este fue otro punto alto de la prueba, lo que evidencia que los usuarios perciben que la herramienta es de utilidad y puedes servirles de ayuda en el proceso de pre-planeación.

Los valores que derivan de los aspectos técnicos de la herramienta obtuvieron opiniones variadas entre los usuarios, pero en general con una tendencia a un nivel alto. Estos términos fueron **Creativo, brinda incentivos, estructurado, claro, motivador, original, colectivo**. Se observa que estos aspectos son los que van ligados a las decisiones de arquitectura y de cómo se propone el flujo de trabajo.

In-placentero-placentero: Esta comparación de palabras se refiere a como el usuario percibió su capacidad de completar las tareas. Esto se evidencia en la prueba de eficacia donde se observó que algunas tareas tuvieron un cierto nivel de frustración en el usuario. Sin embargo, la prueba solo dio como resultado un valor bajo de placentero, pero sin acercarse al valor de in-placentero.

Difícil manejo-Fácil manejo; Complicado – Simple: Aunque no se observe ningún valor en difícil o complicad, se puede apreciar que cuenta con el valor más bajo de fácil y simple, lo que demuestra que la herramienta mantiene un equilibrio entre lo complicado que puede ser para realizar el proceso y su capacidad para estimular el aprendizaje.

Conservador-Atrevido: A pesar de denotar el producto como atrevido, se observó en los comentarios de los usuarios que también tenían una inclinación hacia el término conservador. Esto puede ser producto de la dirección que tomo el desarrollo del producto, cuyo objetivo era brindarle una experiencia más familiar al flujo de trabajo conocido.

7.2.6. Conclusiones de la evaluación

De acuerdo a los objetivos planteados y a los alcances del proyecto se logró desarrollar una herramienta que apoya el proceso de pre-planeación quirúrgica, que cumple con los requerimientos funcionales y de usabilidad.

La herramienta digital permite realizar el flujo del proceso de pre-planeación quirúrgica, brinda una visualización 3D de la anatomía del paciente y brinda ayudas para la toma de decisiones del diagnóstico y el abordaje. Finalmente, a herramienta permite compartir información entre los miembros del equipo diagnóstico y generar soluciones más rápidas para sus pacientes.

De acuerdo a los comentarios de los usuarios que realizaron las diferentes pruebas, observamos que la herramienta digital tiene una buena aceptación y se concluye que la herramienta es útil a la hora de ser un apoyo al proceso de pre-planeación. Con las respectivas mejoras a las tareas que presentaron errores, se puede desarrollar un flujo de trabajo constante y repetible, con el fin de disminuir tiempos de realización de tareas y brindar una herramienta cómoda para la pre-planeación.

8. CONCLUSIONES

De los objetivos

- Los requerimientos son parte fundamental de todo proceso de diseño. El método permitió obtener un conjunto de conceptos tanto teóricos basados en visualización médica, como prácticos hallados mediante las entrevistas de los usuarios arquetipos. De ahí se identificaron procesos de pre-planeación, necesidades y características importantes para la herramienta. Con estos datos se logró interpretar y redactar un documento de especificaciones de requerimientos que son el punto de partida para el desarrollo de la herramienta digital de pre-planeación
- Durante el proyecto, se desarrolló una arquitectura de información que representa la estructura general de la herramienta digital. Cada sesión de prueba de los diferentes prototipos propuestos, arrojaron resultados que condujeron a realizar cambios en dicha estructura. La arquitectura resultante fue utilizada para el desarrollo final de la herramienta los gestos e interacciones propuestas pudieron ser implementados satisfactoriamente.
- Se utilizó un método de evaluación de usabilidad, de la herramienta digital enfocada en 3 atributos eficacia, eficiencia y satisfacción. De las pruebas de usuarios se observó que la mayoría de las tareas fueron realizadas con éxito al primer intento, no obstante, en ese primer intento los tiempos de ejecución de las tareas más complicadas superaron los 3 segundos. La satisfacción fue evaluada mediante la utilización de una herramienta que utiliza un método semántico llamada AttrakDiff. Con ella se pudo observar la percepción global de la herramienta digital lo cual mostro resultados favorables.

De la metodología

- La creación de los arquetipos que representan las características generales de los usuarios conllevó al acercamiento a su entorno de trabajo. Se logró recabar una considerable cantidad de información sobre los flujos de trabajo mediante entrevistas y discursos realizados por los mismos usuarios. Fue de gran importancia su participación durante todo el proceso de desarrollo ya que de ellos dependía el rumbo del proyecto.
- El desarrollo se centró en un proceso iterativo, donde se realizaban constantes modificaciones. Cada filtro de mejora se realizó en torno al mejoramiento del flujo de trabajo de la pre-planeación quirúrgica, se le brindo mayor importancia a los aspectos que permitían a los usuarios realizar sus tareas sin distracciones ni bloqueos.
- Los prototipos de diferente nivel de complejidad fueron un factor clave del proceso de desarrollo, ya que permitieron la mejora continua de la propuesta de interfaz gráfica de usuario. Los prototipos se consideran como bocetos iniciales del concepto y su utilidad se deriva de la velocidad con la que se construye y comprueba, ya que sería una pérdida de tiempo desarrollar una versión compleja que seguramente presentara errores.

De la herramienta digital de pre-planeación NAVAR

- La herramienta digital le brinda a los usuarios un módulo donde pueden realizar todas las tareas del proceso de pre-planeación. Esta permite gestionar los archivos, mantener una comunicación activa entre los miembros del equipo quirúrgico, observar modelos 3D de la anatomía de

los pacientes y consignar las decisiones para que puedan ser consultadas posteriormente.

- La utilización de visualización 3D de la patología del paciente tuvo una gran acogida por los usuarios ortopedistas, donde sus opiniones fueron positivas con respecto a la forma de analizar una fractura. No obstante, por limitaciones técnicas la calidad de los modelos tiene un límite, por ende, si la patología en concreto cuenta con un detalle demasiado pequeño este no podrá ser observado mediante el visualizador.

BIBLIOGRAFÍA

- AO members, 'AO Foundation', 2008 <<https://www.aofoundation.org>>
- Christian, J., J. Kröll, G. Strutzenberger, N. Alexander, M. Ofner, and H. Schwameder, 'Computer Aided Analysis of Gait Patterns in Patients with Acute Anterior Cruciate Ligament Injury', *Clinical Biomechanics*, 33 (2016), 55–60 <<https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2016.02.008>>
- Citak, Musa, Mustafa Citak, Eduardo M. Suero, Padhraig F. O' Loughlin, Tobias Hüfner, and Christian Krettek, 'Navigated Reconstruction of a Tibial Plateau Compression Fracture Post-Virtual Reconstruction. A Case Report', *Knee*, 18 (2011), 205–8 <<https://doi.org/10.1016/j.knee.2010.04.007>>
- Cuomo, Pierluigi, Andrew Edwards, Francesco Giron, Anthony M J Bull, Andrew A Amis, and Paolo Aglietti, 'VALIDATION OF THE 65 ° HOWELL GUIDE FOR ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT RECONSTRUCTION', 22 (2006), 70–75
- Enriquez, Juan Gabriel, and Sandra Isabel Casas, 'Usabilidad En Aplicaciones Móviles', *ICT Desarrollado En El Marco Del Proyecto UNPA 29/A273-1*, 2013, 1–23 <<https://doi.org/1852 - 4516>>
- Fadero, Patrick Eniola, and Mahir Shah, 'Three Dimensional (3D) Modelling and Surgical Planning in Trauma and Orthopaedics.', *The Surgeon : Journal of the Royal Colleges of Surgeons of Edinburgh and Ireland*, 12 (2014), 6–11 <<https://doi.org/10.1016/j.surge.2014.03.008>>
- Grady, Robert B, 'Measuring and Managing Software Maintenance', *IEEE Software*, 4 (1987), 35–45
- Guevara Melo, Eduardo Serafín, *Diseño Industrial. Conceptos Para Construcción de La Forma*, U. Industr, 2009
- Hall, Stuart, 'The Colors of an App Icons', 2015 <stories.appbot.co>
- Hassenzahl, Marc, 'The Thing and I: Understanding the Relationship Between User and Product BT - Funology: From Usability to Enjoyment', ed. by Mark A Blythe and others (Dordrecht: Springer Netherlands, 2005), pp. 31–42 <https://doi.org/10.1007/1-4020-2967-5_4>
- Holdsworth, B J, 'Planning in Fracture Surgery', *Frontiers in Fracture Management. London: Martin Dunitz*, 1989, 1–15 <https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=ea0xqD5MaCgC&oi=fnd&pg=PA1&dq=holdsworth+planning+in+fracture+surgery&ots=IrWDKoKyP-&sig=XRmiJ2I0KPLctF3FF_lfnAKyIWA#v=onepage&q=holdsworth+planning+in+fracture+surgery&f=false>
- ISO, 'Ergonomic Requirements for Office Work with Visual Display Terminals (VDTs)-Part 11: Guidance on Usability', 1998

- Jacobo, Esmitt Ramírez, 'Planificación Preoperatoria Digital En En Traumatología', *Ultrasound*, 2009
- Jardini, André Luiz, Maria Aparecida Larosa, Rubens Maciel Filho, Cecília Amélia De Carvalho Zavaglia, Luis Fernando Bernardes, Carlos Salles Lambert, and others, 'Cranial Reconstruction: 3D Biomodel and Custom-Built Implant Created Using Additive Manufacturing', *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 42 (2014), 1877–84 <<https://doi.org/10.1016/j.jcms.2014.07.006>>
- 'Justinmind', 2015 <www.justinmind.com>
- Kopf, Sebastian, Brian Forsythe, Andrew K Wong, Scott Tashman, William Anderst, James J Irrgang, and others, 'Nonanatomic Tunnel Position in Traditional Transtibial Single-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Evaluated by Three-Dimensional Computed Tomography.', *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 92 (2010), 1427–31 <<https://doi.org/10.2106/JBJS.I.00655>>
- Lascombes, P., D. Popkov, H. Huber, T. Haumont, and P. Journeau, 'Classification of Complications after Progressive Long Bone Lengthening: Proposal for a New Classification', *Orthopaedics and Traumatology: Surgery and Research*, 98 (2012), 629–37 <<https://doi.org/10.1016/j.otsr.2012.05.010>>
- Lee, Kwang Won, Yoon Sub Hwang, Yong Joo Chi, Dae Suk Yang, Ha Yong Kim, and Won Sik Choy, 'Anatomic Single Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction by Low Accessory Anteromedial Portal Technique: An In Vivo 3D CT Study.', *Knee Surgery & Related Research*, 26 (2014), 97–105 <<https://doi.org/10.5792/ksrr.2014.26.2.97>>
- Leong, Natalie L, Geert Buijze, Eric C Fu, Filip Stockmans, and Jesse B Jupiter, 'Computer-Assisted versus Non-Computer-Assisted Preoperative Planning of Corrective Osteotomy for Extra-Articular Distal Radius Malunions: A Randomized Controlled Trial.', *BMC Musculoskeletal Disorders*, 11 (2010), 282 <<https://doi.org/10.1186/1471-2474-11-282>>
- Lopez, Clara I., Danny Cáceres, María J. González, Julio C. Pinillos, and Juan C. Moreno, 'Ingeniería Inversa Aplicada a Herramientas Software Bio-CAD Para El Desarrollo de Modelos Virtuales Óseos 3D', *Sexto Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica, Cuarto de Ingeniería Mecatrónica, Y Cuarto Congreso Internacional de Materiales Energía Y Medio Ambiente*, 2013
- Lopreite, Fernando A, Diego Mana Pastrían, and Santiago Suárez, 'Planificación Manual Preoperatoria En El Reemplazo Total de Rodilla Primario', 76 (2011), 152–57
- Mast, Jeffrey, Roland Jakob, and Reinhold Ganz, *Planning and Reduction Technique in Fracture Surgery* (Springer Science & Business Media, 2012) <<https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=wxzyCAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=j+mast+planning+and+reduction+technique+surgery&ots=HBcFoHJwhn&sig=7X1GdvWAqXF3tZ4dfv4G0YDRhVo#v=onepage&q=j+mast+planning+and+reduction+technique+surgery&f=false>>
- Meuffels, Duncan E, Jan-willem Potters, Anton H J Koning, Charles H Brown Jr, and Jan A

- N Verhaar, 'Visualization of Postoperative Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Bone Tunnels Reliability of Standard Radiographs , CT Scans , and 3D Virtual Reality Images', 82 (2011), 699–703
<<https://doi.org/10.3109/17453674.2011.623566>>
- Mihalko, William M., and Kenneth A. Krackow, 'Preoperative Planning for Lower Extremity Osteotomies', *The Journal of Arthroplasty*, 16 (2001), 322–29
<<https://doi.org/10.1054/arth.2001.21460>>
- Ministerio de Salud y Protección Social, 'Oferta Y Demanda Del Recurso Médico En Colombia', *Boletín Electrónico Para Los Actores Del Sistema De Salud En Colombia No.*, 2013, 2–4
- Mochizuki, Tomoyuki, Takeshi Muneta, Tsuyoshi Nagase, Shin ichi Shirasawa, Kei ich Akita, and Ichiro Sekiya, 'Cadaveric Knee Observation Study for Describing Anatomic Femoral Tunnel Placement for Two-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction', *Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 22 (2006), 356–61 <<https://doi.org/10.1016/j.arthro.2005.09.020>>
- Mocholí, Anna, 'Diseño de Apps Y La Importancia Del Color', 2015
<www.yeeply.com/blog/disenno-de-apps-color>
- Montero, Yusef Hassan, Francisco Jesús Martín Fernández, Dunia Hassan Montero, and Óscar Martín Rodríguez, 'Arquitectura de La Información En Los Entornos Virtuales de Aprendizaje. Aplicación de La Técnica Card Sorting Y Análisis Cuantitativo de Los Resultados', *El Profesional de La Informacion*, 13 (2004), 93–99
<<https://doi.org/10.1076/epri.13.2.93.29027>>
- Otto, Bootstrap contributors Mark, 'Bootstrap', *Bootstrap 4 Alpha 6*, 2017
<<http://getbootstrap.com/>>
- Parthasarathy, Jayanthi, '3D Modeling, Custom Implants and Its Future Perspectives in Craniofacial Surgery', *Annals of Maxillofacial Surgery*, 4 (2014), 9
<<https://doi.org/10.4103/2231-0746.133065>>
- Pournader, Roozbeh, 'Roboto: Google's Signature Font Is Now Open Source', 2015
<opensource.googleblog.com/2015/05/roboto-googles-signature-font-is-now.html>
- Preim, Bernhard, and Charl Botha, 'Chapter 1 - Introduction', in *Visual Computing for Medicine (Second Edition)*, ed. by Bernhard Preim and Charl Botha, Second Edi (Boston: Morgan Kaufmann, 2014), pp. 1–11
<<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-415873-3.00001-8>>
- _____ 'Chapter 2 - Acquisition of Medical Image Data', in *Visual Computing for Medicine (Second Edition)*, ed. by Bernhard Preim and Charl Botha, Second Edi (Boston: Morgan Kaufmann, 2014), pp. 15–67
<<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-415873-3.00002-X>>
- _____ 'Chapter 5 - Human-Computer Interaction for Medical Visualization', in *Visual Computing for Medicine (Second Edition)*, ed. by Bernhard Preim and Charl Botha, Second Edi (Boston: Morgan Kaufmann, 2014), pp. 177–225

<<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-415873-3.00005-5>>

Pruitt, John, and Tamara Adlin, 'Putting Personas to Work', in *Human Computer Interaction Handbook*, Human Factors and Ergonomics (CRC Press, 2012), pp. 1055–80 <<https://doi.org/doi:10.1201/b11963-54>>

Ramírez, E, and E Coto, 'TRAUMAPLAN: Para La Planificación Preoperatoria En Traumatología', *Revista Venezolana de Información*, 8 (2011), 61–78 <<http://documat.unirioja.es/descarga/articulo/3703559.pdf>>

Rohner, Dennis, Raquel Guijarro-Martínez, Peter Bucher, and Beat Hammer, 'Importance of Patient-Specific Intraoperative Guides in Complex Maxillofacial Reconstruction', *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 41 (2013), 382–90 <<https://doi.org/10.1016/j.jcms.2012.10.021>>

Sachsen, S., B. Senf, O. Burgert, J. Meixensberger, H. J. Florek, F. W. Mohr, and others, 'Stent Graft Visualization and Planning Tool for Endovascular Surgery Using Finite Element Analysis', *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 9 (2014), 617–33 <<https://doi.org/10.1007/s11548-013-0943-2>>

Santos, Ramón González, 'Las Tecnologías de Prototipado Rápido En La Cirugía Rapid Prototyping Technologies in Surgery', 50 (2013), 331–38

Scolozzi, P, 'Computer-Aided Design and Computer-Aided Modeling (CAD/CAM) Generated Surgical Splints, Cutting Guides and Custom-Made Implants: Which Indications in Orthognathic Surgery?', *Revue de Stomatologie, de Chirurgie Maxillo-Faciale et de Chirurgie*, 116 (2015), 343–49 <<https://doi.org/10.1016/j.revsto.2015.09.005>>

Sears, A, and J A Jacko, *The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications, Third Edition*, Human Factors and Ergonomics (CRC Press, 2002) <<https://books.google.com.co/books?id=b3rg6wmjc5QC>>

Steinberg, Ely Liviu, Nadav Shasha, Aharon Menahem, and Shmuel Dekel, 'Preoperative Planning of Total Hip Replacement Using the TraumaCad (TM) System', *ARCHIVES OF ORTHOPAEDIC AND TRAUMA SURGERY*, 130 (2010), 1429–32 <<https://doi.org/10.1007/s00402-010-1046-y>>

Suárez, Ma del Carmen, 'Sistema de Evaluación de La Usabilidad Web Orientado Al Usuario Y Basado En La Determinación de Tareas Críticas', *Universidad de Oviedo*, 2011, 200 <<http://di002.edv.uniovi.es/~cueva/investigacion/tesis/Sirius.pdf>>

Tutorialrepublic, 'Understanding the Bootstrap 3 Grid System', *Understanding the Bootstrap 3 Grid System - Tutorial Republic*, 2017 <<http://www.tutorialrepublic.com/twitter-bootstrap-tutorial/bootstrap-grid-system.php>> [accessed 1 January 2017]

Ulrich, Karl, and Steven Eppinger, *Diseño Y Desarrollo de Productos*, McGraw Hill, 2013, v <<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>>

- Universidad Alicante, 'La Búsqueda de Información Científica', p. 28
<https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/33983/1/BUSQUEDA_informacion_DOCTORADO.pdf>
- Venne, Gabriel, Brian J Rasquinha, David Pichora, Randy E Ellis, and Ryan Bicknell, 'Comparing Conventional and Computer-Assisted Surgery Baseplate and Screw Placement in Reverse Shoulder Arthroplasty.', *Journal of Shoulder and Elbow Surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et Al.]*, 24 (2015), 1112–19
<<https://doi.org/10.1016/j.jse.2014.10.012>>
- Viceconti, M., R. Lattanzi, B. Antonietti, S. Paderni, R. Olmi, a. Sudanese, and others, 'CT-Based Surgical Planning Software Improves the Accuracy of Total Hip Replacement Preoperative Planning', *Medical Engineering and Physics*, 25 (2003), 371–77
<[https://doi.org/10.1016/S1350-4533\(03\)00018-3](https://doi.org/10.1016/S1350-4533(03)00018-3)>
- Villamor, Craig, Dan Willi, and Luke Wroblewski, 'Touch Gesture', *Touch Gesture Reference Guide*, 2011, 1–23
- Wei, C, X Yongfei, and Z Youlei, 'A Software Platform for Interactive Analysis on 3D Medical Data', 2015, 22–24
- Whelan, Bride M, *La Armonia En El Color - Nuevas Tendencias*, ed. by Rosario Salinas, Arte y dis, 1994
- Zhang, Yuan Z, Sheng Lu, Yong Yang, Yong Q Xu, Yan B Li, and Guo X Pei, 'Design and Primary Application of Computer-Assisted, Patient-Specific Navigational Templates in Metal-on-Metal Hip Resurfacing Arthroplasty.', *The Journal of Arthroplasty*, 26 (2011), 1083–87 <<https://doi.org/10.1016/j.arth.2010.08.004>>

ANEXOS

ANEXO A FORMATO ENTREVISTA DE NECESIDADES

Entrevista necesidades de usuario



Objetivo: Obtener información del usuario ortopedista para poder interpretar sus necesidades

1. ¿Cómo prepara la intervención antes de realizar el procedimiento?
2. ¿Para hacer la reconstrucción del ligamento, que pre-planeación realiza?
3. ¿Utiliza alguna herramienta digital o manual para realizar el proceso de pre-planeación quirúrgica?
4. ¿Qué tan importante considera que es hacer una pre-planeación antes de la cirugía?
5. Describa el proceso de cirugía de LCA

6. ¿Cómo consignan las decisiones tomadas durante el proceso antes y durante la intervención?

7. ¿Hay un equipo de trabajo con el que comparta información de la intervención?

8. ¿Qué dispositivos electrónicos utiliza?

9. ¿Qué actividades realiza con frecuencia en estos dispositivos?

Anotaciones extra mencionadas durante la entrevista

Firma y nombre del entrevistado

ANEXO B FORMATO DOCUMENTO DISEÑO DE LA PRUEBA



Documento pruebas de usabilidad

Resumen: Se desarrolló una prueba a N residentes ortopedistas, N diseñadores y N número de personas que realizaran la labor de los demás roles. A cada participante se le otorgo una lista de tareas de acuerdo a su rol, los participantes realizaron la tarea mientras pronunciaban comentarios en voz alta sobre el uso de la herramienta. Finalmente se les entrego una encuesta de satisfacción donde evaluaron su experiencia.

Objetivo: Medir la eficiencia, la efectividad y la satisfacción de la herramienta digital durante todo el ciclo de trabajo de gestión y diagnóstico, en función de los diferentes usuarios del equipo de trabajo.

Atributos a evaluar:

Efectividad:

Numero de tareas realizadas con éxito.

Porcentaje de tareas completas con éxito al primer intento.

Eficiencia:

Tiempo empleado con cada tarea. (Segundos)

Tiempo transcurrido en cada etapa. (Tiempo en cada ventana)

Satisfacción (encuesta de satisfacción)

AttrackDiff

Materiales:

Formato conclusión de tareas y medición del tiempo

Encuesta de satisfacción

Hojas blancas

Material de escritura (Lápices, bolígrafos)

Cámara GoPro, para toma de datos

Lista de tareas en función de los pasos del flujo de trabajo

Lista de tareas a realizar Ortopedista LCA:

1. Ingresar como usuario a la aplicación.
2. Seleccionar el caso clínico referente a LCA
3. Observar el caso clínico del paciente

4. Solicitar los exámenes pertinentes
5. Observar radiografías
6. Realizar el proceso de marcación
7. Escribir las especificaciones pertinentes e instrumentos del abordaje quirúrgico
8. Observar el reporte final de la intervención
9. Cerrar sesión

Lista de tareas a realizar Ortopedista PSI:

1. Ingresar como usuario a la aplicación.
2. Selecciona el caso clínico referente a fractura
3. Observar el caso clínico del paciente
4. Solicitar imágenes tomográficas
5. Realizar la selección de trauma referente a la AO foundation
6. Realizar la selección del tratamiento de acuerdo a la AO foundation
7. Realizar el proceso de marcación para diseño de implante
8. Escribir especificaciones pertinentes
9. Observar y descargar propuesta del diseñador entorno al PSI
10. Comentar su opinión acerca de las propuesta
11. Descargar el reporte final de la intervención
12. Cerrar sesión

Lista de tareas a realizar Diseñador PSI

1. Ingresar como usuario a la aplicación
2. Descargar las tomografías subidas por el radiólogo
3. Subir la respectiva reconstrucción
4. Observar el diagnostico enviado por el ortopedista
5. Crear una nueva propuesta
6. Enviar los archivos pertinentes a esa propuesta
7. Observar los comentarios del ortopedista y responder
8. Cerrar sesión

Lista de tareas Ortopedista LCA

N°	Tarea	Punto de consideración tarea terminada	Secuencia de pasos para considerarse una tarea terminada al primer intento
1	Ingresar como usuario a la aplicación	Hacer tap en el botón de login	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar el campo de usuario. • Escribir el usuario • Seleccionar el campo contraseña • Escribir la contraseña • Presionar el botón de login

2	Seleccionar el caso clínico referente a LCA	Presionar sobre la tabla en el caso correspondiente a LCA	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar el caso de LCA
3	Observar el caso clínico del paciente	Leer la información final de ese caso	
4	Solicitar los exámenes pertinentes	Seleccionar el botón de solicitar examen	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar en el menú el botón de exámenes • Seleccionar nueva solicitud • Seleccionar el tipo de examen • Escribir alguna anotación si es pertinente • Presionar el botón de solicitar examen
5	Observar radiografías	Seleccionar una de las radiografías de la galería	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar en el menú el botón de diagnostico • Aparecerá directamente en la galería • Presionar en otra de las imágenes de la galería de radiografías
6	Realizar el proceso de marcación	Seleccionar el botón de “siguiente” final (El cual guarda los puntos de los túneles)	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar el botón de marcación en el submenú • Seguir los pasos marcados en cada una de las pantallas del visualizador • Rotar el hueso final generado en la marcación de LCA
7	Escribir las especificaciones pertinentes e instrumentos del abordaje quirúrgico	Seleccionar el botón de guardar instrumentos	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar en el menú secundario la opción de especificaciones • Seleccionar la caja de especificaciones y escribir • Seleccionar el botón de agregar instrumentos • Seleccionar la caja de instrumental y escribir
8	Observar el reporte final de la intervención	Desplazar el scroll de la página PDF	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar el icono del reporte • Desplazar el scroll

Lista de tareas Ortopedista PSI (del paso 1 al 4 son similares al de LCA)

N°	Tarea	Punto de consideración tarea terminada	Secuencia de pasos para considerarse una tarea terminada al primer intento
5	Realizar la selección de trauma referente a la AO fundation	Seleccionar el botón de “proceder”	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar el botón de diagnostico • Seleccionar una de las áreas anatómicas de la rodilla • Elegir el tipo de fractura y presionar

			“proceder”
6	Realizar la selección del tratamiento de acuerdo a la AO fundation	Seleccionar el botón de “seleccionar” en el apartado de tratamientos	<ul style="list-style-type: none"> • Elegir el tratamiento adecuado y presionar “seleccionar”
7	Realizar el proceso de marcación para diseño de implante	Seleccionar el botón “guardar” para finalizar la marcación	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar en el menú secundario la opción de marcación • Realizar los pasos pertinentes a la marcación de puntos • Seleccionar guardar
8	Escribir especificaciones pertinentes	Desplazar el scroll de la página PDF	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar el icono del reporte • Desplazar el scroll
9	Observar y descargar propuesta del diseñador entorno al PSI	Seleccionar el botón de descarga	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar en el menú la opción de propuesta • presionar “descargar archivos” referentes a la propuesta
10	Comentar su opinión acerca de las propuesta	Seleccionar botón de comentar	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar la caja de comentarios y dar un comentario referente a esa propuesta • Seleccionar el botón “comentar”

Lista de tareas Diseñador LCA (Del paso 1 al 3 son similares al Ortopedista)

Nº	Tarea	Punto de consideración tarea terminada	Secuencia de pasos para considerarse una tarea terminada al primer intento
4	Descargar tomografías	Descarga de tomografías	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar en la barra de navegación archivos • Presionar el botón de descarga de tomografías
5	Subir reconstrucción	Haber subido tanto el OBJ como el MTL	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar el campo para el respectivo archivo • Presionar el icono de selección de archivo • Seleccionar el archivo correspondiente • Presionar guardar
6	Observar especificaciones del ortopedista	Leer las especificaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar el campo de especificaciones

7	Realizar comentarios con el ortopedista.	Seleccionar botón de comentar	<ul style="list-style-type: none">• Seleccionar la caja de comentarios y dar un comentario referente a esa propuesta• Seleccionar el botón "comentar"

ANEXO C FORMATO DE CAPTACIÓN PRUEBAS EFICACIA Y EFICIENCIA



Formato de pruebas de Eficiencia y Eficacia de la Herramienta digital Ortopedista para caso de LCA

Objetivo: Medir la eficiencia, la efectividad y la satisfacción de la herramienta digital durante todo el ciclo de trabajo de gestión y diagnóstico, en función de los diferentes usuarios del equipo de trabajo.

Tarea (Punto considerado finalizado)	ok	Tiempo(seg)
Ingresar como usuario a la aplicación. (Presionar el botón de login)	<input type="checkbox"/>	
Seleccionar el caso clínico referente a LCA. (Presionar sobre la tabla en el caso correspondiente a LCA)	<input type="checkbox"/>	
Observar el caso clínico del paciente. (Leer la información final de ese caso)	<input type="checkbox"/>	
Solicitar los exámenes pertinentes. (Seleccionar el botón que envía el formulario de solicitud de exámenes)	<input type="checkbox"/>	
Observar radiografías. (Seleccionar una de las radiografías de la galería)	<input type="checkbox"/>	
Realizar el proceso de marcación. (Seleccionar el botón de guardar puntos)	<input type="checkbox"/>	
Escribir las especificaciones pertinentes e instrumentos del abordaje quirúrgico. (Seleccionar el botón de guardar instrumentos)	<input type="checkbox"/>	
Observar el reporte final de la intervención. (Desplazar el scroll de la página PDF)	<input type="checkbox"/>	
Cerrar sesión. (Presionar la palabra cerrar sesión)	<input type="checkbox"/>	



Formato de pruebas de Eficiencia y Eficacia de la Herramienta digital Ortopedista para caso de PSI

Objetivo: Medir la eficiencia, la efectividad y la satisfacción de la herramienta digital durante todo el ciclo de trabajo de gestión y diagnóstico, en función de los diferentes usuarios del equipo de trabajo.

Tarea (Punto considerado finalizado)	ok	Tiempo (seg)
Ingresar como usuario a la aplicación. (Presionar el botón de login)	<input type="checkbox"/>	
Seleccionar el caso clínico referente a LCA. (Presionar sobre la tabla en el caso correspondiente a LCA)	<input type="checkbox"/>	
Observar el caso clínico del paciente. (Leer la información final de ese caso)	<input type="checkbox"/>	
Solicitar los exámenes pertinentes. (Seleccionar el botón que envía el formulario de solicitud de exámenes)	<input type="checkbox"/>	
Realizar la selección de trauma referente a la AO foundation. (Seleccionar el botón de “proceder”)	<input type="checkbox"/>	
Realizar la selección del tratamiento de acuerdo a la AO foundation. (Seleccionar el botón de “seleccionar” en el apartado de tratamientos)	<input type="checkbox"/>	
Realizar el proceso de marcación para diseño de implante (Seleccionar el botón “guardar” para finalizar la marcación)	<input type="checkbox"/>	
Escribir especificaciones pertinentes. (Seleccionar el botón de guardar instrumentos)	<input type="checkbox"/>	
Observar y descargar propuesta del diseñador entorno al PSI (Seleccionar el botón de descarga)	<input type="checkbox"/>	
Comentar su opinión acerca de las propuesta (Presionar botón de enviar)	<input type="checkbox"/>	
Observar el reporte final de la intervención. (Desplazar el scroll de la página PDF)	<input type="checkbox"/>	

Formato de pruebas de Eficiencia y Eficacia de la Herramienta digital Diseñador

Objetivo: Medir la eficiencia, la efectividad y la satisfacción de la herramienta digital durante todo el ciclo de trabajo de gestión y diagnóstico, en función de los diferentes usuarios del equipo de trabajo.

Tarea (Punto considerado finalizado)	ok	Tiempo(seg)
Ingresar como usuario a la aplicación. (Presionar el botón de login)	<input type="checkbox"/>	
Descargar las tomografías subidas por el radiólogo. (Presionar el botón naranja de descarga)	<input type="checkbox"/>	
Subir las respectivas reconstrucciones. (Presionar el botón de enviar)	<input type="checkbox"/>	
Observar el diagnostico enviado por el ortopedista. (Leer el diagnostico)	<input type="checkbox"/>	
Crear una nueva propuesta. (Presionar el botón de nueva propuesta)	<input type="checkbox"/>	
Enviar los archivos pertinentes a esa propuesta. (Presionar el botón de envió de formulario.)	<input type="checkbox"/>	
Observar los comentarios del ortopedista y responder. (Presionar botón enviar)	<input type="checkbox"/>	

ANEXO D FORMATO PRUEBA DE USABILIDAD

4/4/2017

Evaluación de satisfacción Navar GP



Evaluación de satisfacción Navar GP

En esta prueba se evaluará el nivel de satisfacción generado por la herramienta digital de pre-planeación. Con la ayuda de parejas de palabras, por favor marque el nivel que considera más apropiado como descripción de navar

	1	2	3	4	5	6	7	
Aislado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Colectivo
	1	2	3	4	5	6	7	
Placentero	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	In-placentero
	1	2	3	4	5	6	7	
Original	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Convencional
	1	2	3	4	5	6	7	
Simple	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Complicado
	1	2	3	4	5	6	7	
Profesional	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	No profesional

1 2 3 4 5 6 7
Feo Bonito

1 2 3 4 5 6 7
Practico Inútil

1 2 3 4 5 6 7
Agradable Desagradable

1 2 3 4 5 6 7
No imaginativo Creativo

1 2 3 4 5 6 7
Brinda Incentivos Impide

1 2 3 4 5 6 7
Confuso Claro

1 2 3 4 5 6 7
Atrevido Conservador

2017

Evaluación de satisfacción Never GP

	1	2	3	4	5	6	7	
Aburrido	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Interesante
	1	2	3	4	5	6	7	
Fácil manejo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Difícil manejo
	1	2	3	4	5	6	7	
Desalentador	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Motivador
	1	2	3	4	5	6	7	
Caótico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Estructurado

Por favor escriba su juicio personal sobre la herramienta, también cualquier sugerencia que pueda brindarnos. Su Opinión es muy importante para el desarrollo de la herramienta.

Firma del usuario.

ANEXO E FORMATO ENCUESTA DE METODO PARA UBICACIÓN DE TUNELES LCA

GRUPO DE INVESTIGACIÓN GRICES - GRUPO DE INVESTIGACIÓN INTERFAZ - UINVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

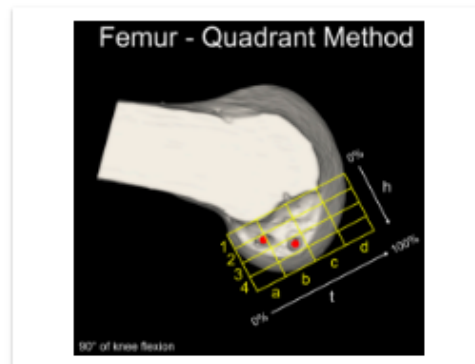
Agradecemos de antemano su colaboración y el tiempo dedicado a responder esta encuesta.

El objetivo de este encuesta es identificar el nivel de uso de las diferentes técnicas de posicionamiento de túneles femoral y tibial en el procedimiento de Artroscopia para la reconstrucción de Ligamento Cruzado Anterior.

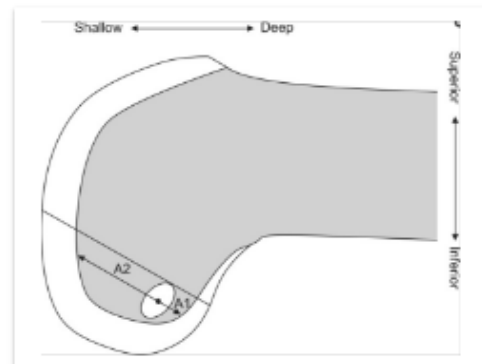
Los datos obtenidos en esta encuesta serán usados únicamente con carácter académico. Esta encuesta es anónima y los datos que usted proporcione serán confidenciales y no serán revelados a terceros.

A continuación, le solicitamos responder de manera objetiva, las siguientes preguntas basado en su conocimiento y experiencia en el campo.

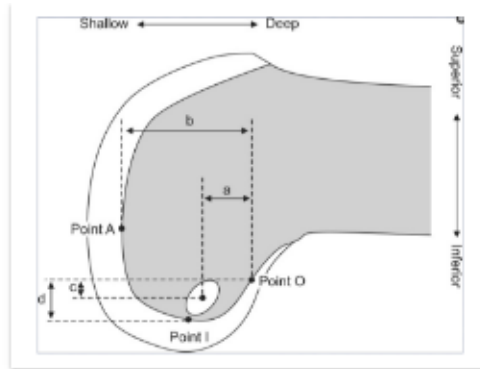
1. Seleccione cuales de las técnicas de posicionamiento del túnel femoral que usted conoce *



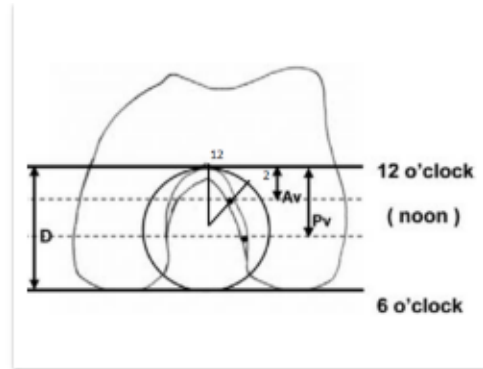
- Método del cuadrante (50:50): Método por el cual se dibuja un cuadro a partir de la línea de blumensaat hasta los puntos más externos del hueso.



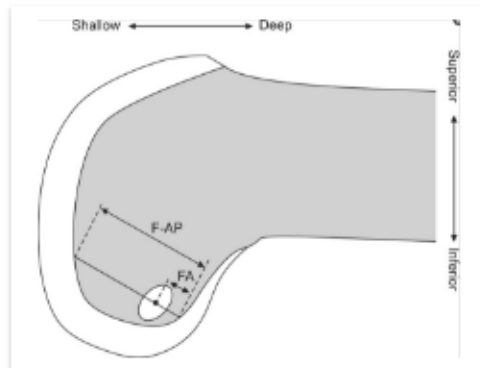
- Método de Mochizuki: El punto central del túnel es calculado como $A1/(A1+A2)$ como se muestra en la gráfica.



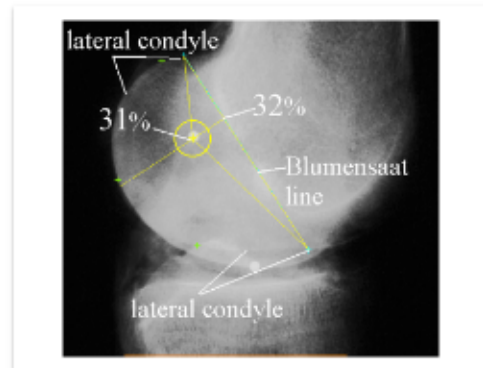
- Método de Watanabe: Se calcula observando el margen formado por la superficie articular, donde se posicionan 3 puntos (A, I, O) donde a partir de estas distancias se obtienen la posición de la entrada del túnel



- Sistema del reloj: Se dibuja un círculo en la escotadura intercondilea y la ubicación del LCA se sitúa entre las 8 y las 10 h en una rodilla derecha



- Método de takahashi: Se define FA como la distancia entre el punto central del tunel y el margen profundo de la superficie articular del condilo femoral lateral y F-AP como la distancia entre el margen superficial y el margen profundo del condilo femoral lateral

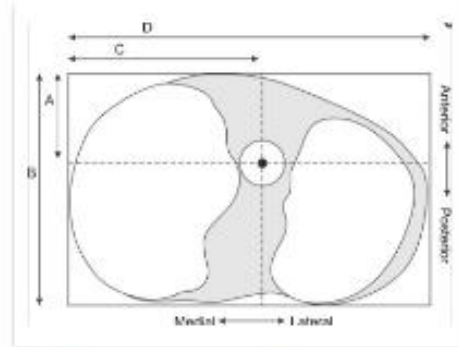


- Metodo del triangulo (Bénareau y Moyen): centro del túnel deberá estar situado a 32 % de la línea antero-posterior y a 31 % sobre la línea perpendicular a este punto T

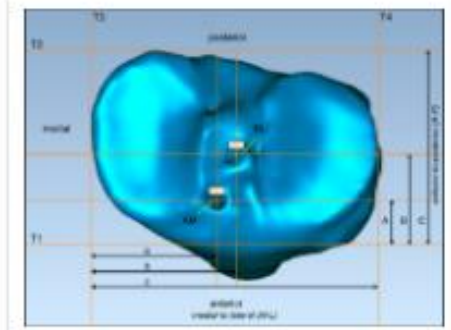
2. Seleccione las técnicas de posicionamiento del túnel tibial que usted conoce *



- FEMUR:Guía de Howell: Guía tibial para posicionar anatómicamente el túnel femoral a través del tunen tibial



- Método de Tsukada: A partir de un cuadro superpuesto al contorno de la tibia se calcula las posiciones de los puntos.



- Método de Forsythe et al: Se dibuja una línea(T1) que pasa por el borde anterior de la meseta tibial, además se forma otra línea (T2) la cual es ubicada en la frontera mas posterior de la meseta tibial, otra línea(T3)se dibuja a través de la frontera medial de la meseta tibial y por ultimo se dibuja una línea (T4) la cual se ubica en el borde lateral de la meseta tibial



- Método de Morgan: La guía(Arthrex Inc,Naples,FL; Morgan CD,US.Patent No 5,269,786) es usada para determinar el ángulo y la longitud del túnel

- Otros:

2. De cada 10 reconstrucciones de LCA por favor indique el numero de veces que usa cada técnica (0 significa que no la usa) para el túnel femoral

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Reloj + Cuadrante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reloj + Mochizuki	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reloj + Watanabe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reloj + Takahashi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reloj + Triangulo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Otros	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

De cada 10 reconstrucciones de LCA por favor indique el numero de veces que usa cada técnica (0 significa que no la usa) para el túnel tibial

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Tsukada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Método de Morgan	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Guía de Howell	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Método de Forsythe et al	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Otros	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3. Seleccione las razones por la que utiliza la o las técnica(s) mencionada(s) anteriormente *

- Tiempo de ejecución
- Complejidad de la técnica
- Experiencia en la ejecución
- Dominio de la técnica
- Reproducibilidad del punto isométrico
- Otros: _____

4. ¿Realiza algún proceso de pre-planeación de manera anticipada a la intervención quirúrgica? *

- SI
- NO

5. Si su respuesta es NO, Seleccione de la lista las razones por las cuales no realiza la pre-planeación de ubicación de los túneles.

- Considera que es un gasto adicional de tiempo
- No se considera necesario, confía en su experiencia
- No cuenta con herramientas tecnológicas para la preplaneacion
- Otros: _____

ANEXO F PROTOCOLO DE PREPARACIÓN DE MODELOS 3D

Preparación modelos 3D para el visualizador PSI

El proceso de obtención de recursos 3D es parte de las acciones necesarias para que la herramienta digital pueda desempeñar su labor como apoyo en la pre-planeación quirúrgica de cirugías ortopédicas. El presente protocolo tiene como objetivo guiar el proceso de manera ordenada y repetible, para así obtener los modelos correctamente alineados y puedan ser cargados en la herramienta. Contiene los fundamentos y lineamientos que orientan la correcta preparación de los archivos 3D.

1. Programas necesarios:

Blender v2.78 o posteriores

2. Pre-saberes necesarios:

- Conocimiento en programas de modelado 3D en general
- Para el manejo de blender es indispensable tener un **Mouse** (Muchas de sus funciones no están disponibles mediante el pad de un computador portátil)
- La selección de objetos en blender se realiza mediante **click Derecho**
- Con el botón central se manipula la vista (Rotación, Traslación, etc)

3. Importación del modelo 3D

Una vez ejecutado el Blender, obtendremos una visión similar a la de la figura 1, el cubo debe ser eliminado de la escena, seleccionándolo y presionando la tecla Suprimir seguido de la tecla enter.

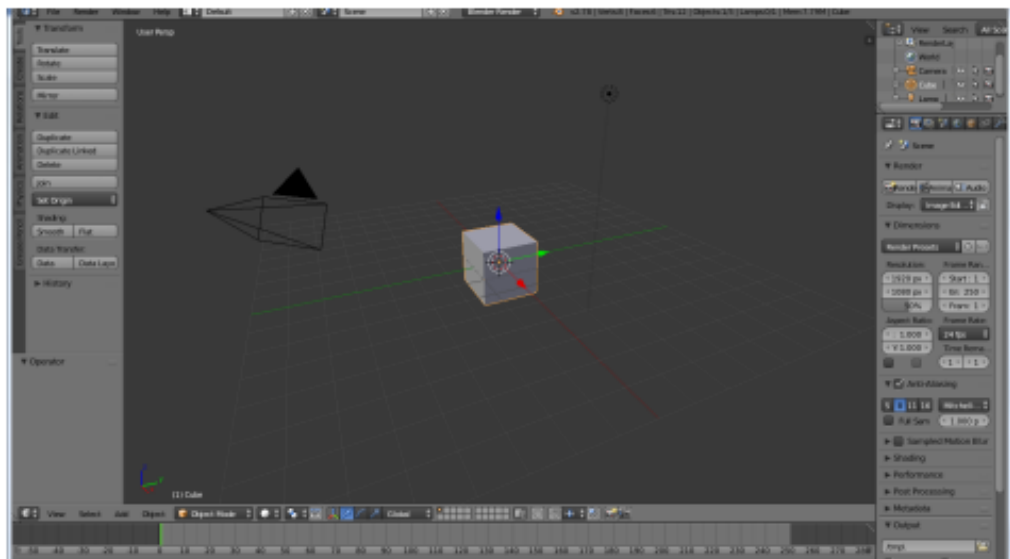


Figura 1: Entorno Blender

Para la importación se debe seleccionar en el menú superior izquierda la opción FILE, y luego la opción Importar, realizado esto se desplegara una ventana con los tipos de archivos que se puede importar. Se elige la opción Wavefront (obj) (Obtenido del respectivo programa de reconstrucción) y se busca el archivo correspondiente. La figura 2 representa los pasos mencionados.

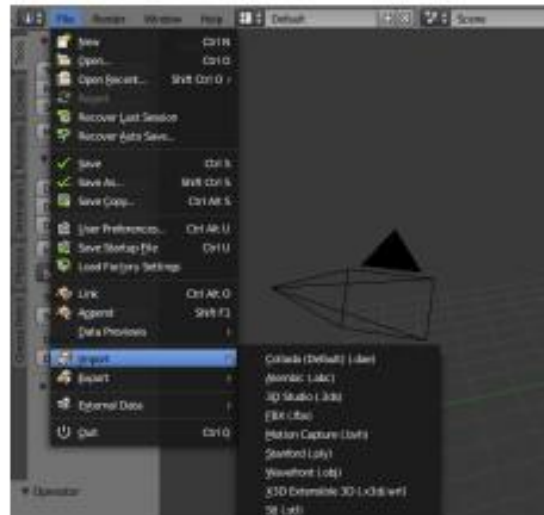


Figura 2: Importación de archivos 3D

4. Alineación del modelo

Cuando el modelo importado carga en el visualizador se pueden observar 2 cosas:

1. El modelo se encuentra en una posición alejada del centro del origen
2. El pivote de rotación se encuentra por fuera del poligonado

Esto puede evidenciarse en la Figura 3

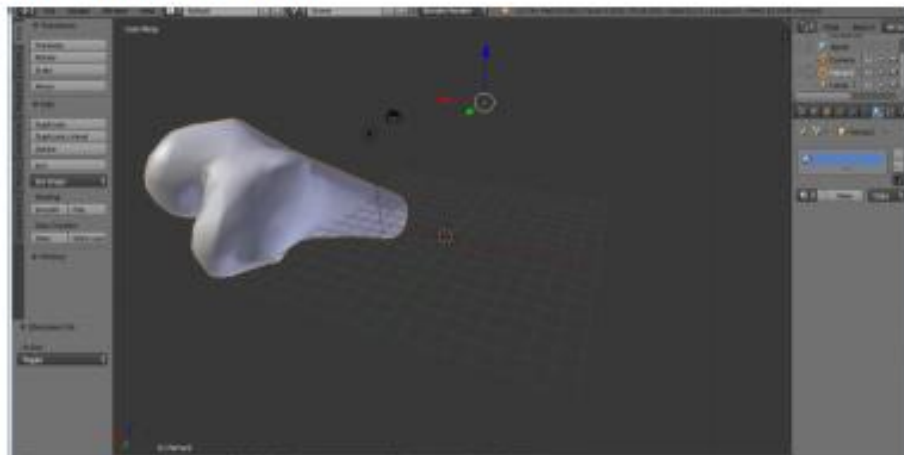


Figura 3: Representación de un hueso importado

Para que la herramienta pueda cargar correctamente el modelo, su pivote debe estar en el centro de masa de la malla poligonal. Se selecciona el modelo, luego en el menú inferior izquierda se selecciona la opción **Object**, luego **Transform/ Origin to center of mass**

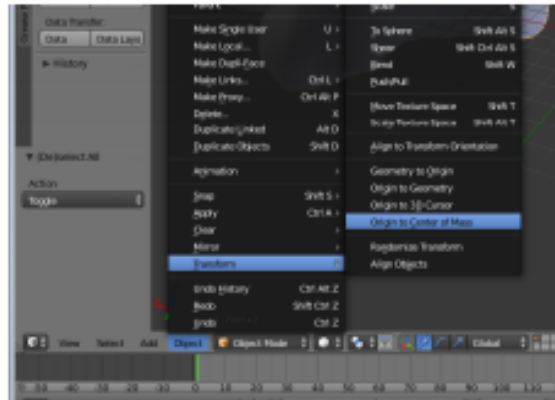


Figura 4: Pivote al centro de masa

Una vez el pivote colocado en el centro de masa del objeto, se procede a alinear el modelo con respecto al origen de coordenadas, para realizar esto se debe seleccionar nuevamente **Object / Transform / Align Objects** Mostrado también en la figura 4. Al realizar esto se desplegará una pequeña barra de herramientas en la parte inferior izquierda, como se muestra en la figura 5. En **Align mode** se selecciona la opción **Centers**, y en **Relative to** se selecciona **Scene origin**, como se muestra en la figura 5. **IMPORTANTE** se debe dar click en cada una de las zonas donde se encuentran las letras "X Y Z", para poder activar las 3 se debe mantener presionado shift mientras se seleccionan.



Figura 5: Opciones para el alineamiento del hueso

Con los anteriores pasos se debería obtener un modelo en el centro del origen y con el pivote en su centro de masa.

5. Ajuste de parámetros del modelo

Los modelos OBJ contienen información tanto del material del objeto como del nombre de la malla poligonal. Esta información es importante para la herramienta digital.

Al seleccionar el modelo y dirigiendo la atención a la zona derecha, se podrá observar que hay una barra con diferentes iconos. Primero se debe buscar el icono **Material**, posteriormente seleccionar el botón **New**, el software creará un nuevo material para el modelo como se muestra en la Figura 6.

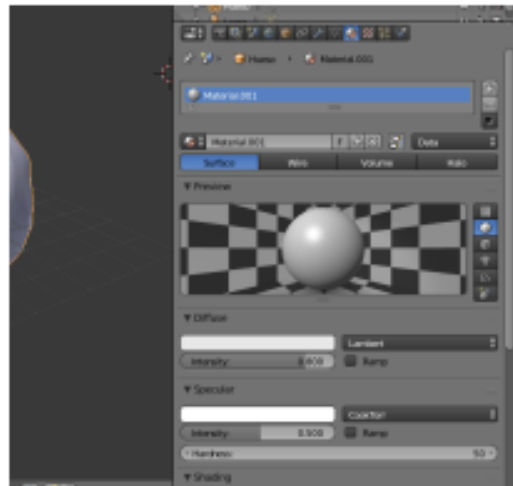


Figura 6: Agregando material al modelo

En el modelo se debe colocar el nombre de Hueso como metadato, para realizar esto se debe seleccionar el icono **Object** y en el nombre cambiarlo por la palabra **Hueso** (IMPORTANTE conservar la mayúscula), Figura 7. De igual manera se selecciona el icono **Object data** y también cambiar el nombre por la palabra **Hueso**. Figura 8.

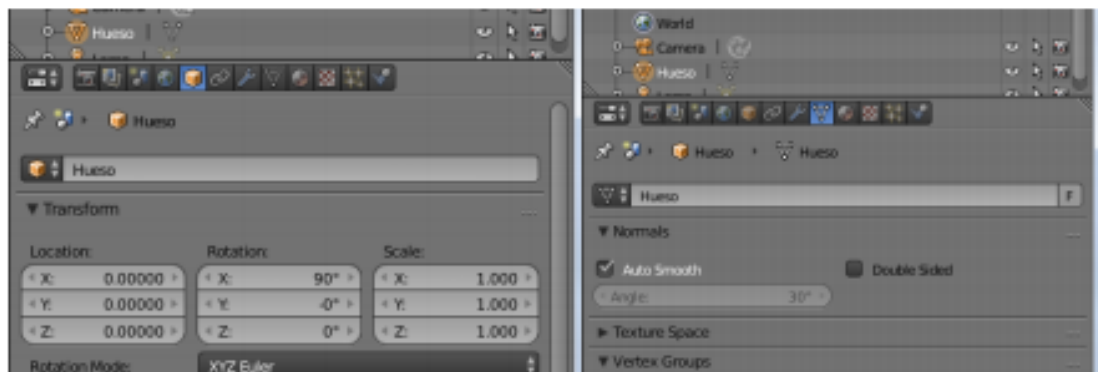


Figura 7 y 8: Iconos Object y Object data respectivamente

6. Reducción de polígonos

Seleccionar el icono de "modifiers" mostrado en la figura 9, se selecciona el modificador **Decimate** con el cual se puede reducir el número de polígonos de la malla. En la casilla Ratio se observa el número "1" seguido de muchos decimales, se selecciona esa casilla y se cambia el número por 0.3 seguido de la tecla Enter, finalmente se presiona el botón **Apply** para que los cambios se hayan efectuado correctamente.

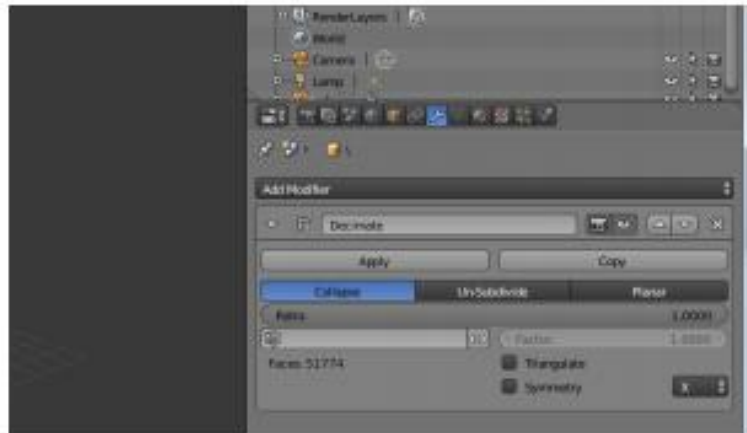


Figura 9. Reducción de polígonos mediante modificador

7. Exportación del modelo

Para exportar el modelo se selecciona del menú superior **File / Export / Wavefront (.obj)**, aparecerá una pantalla, donde en la parte superior se selecciona el directorio para guardar el modelo, y el nombre del archivo. Antes de exportar el modelo se deben colocar las opciones que se encuentran en la parte inferior izquierda como se muestra en la Figura 9.



Figura 10: Casillas que deben ser marcadas al momento de exportación

Una vez realizado esto se debe presionar el botón **Export OBJ** así el modelo será guardado en la ubicación seleccionada.

8. Modelos exportados

En la ubicación donde se exporto se debieron haber generado 2 modelos uno con extensión OBJ y otro con extensión MTL, estos 2 modelos deben subirse a la herramienta digital para poder usar el visualizador correctamente.

9. Carga de modelos en la herramienta digital

Entrar en la dirección de la página xxx.com, ingresar con el usuario y contraseña correspondiente, seleccionar el caso clínico que necesite el modelo 3D. E la barra de navegación se selecciona el botón archivos, aparecer una tabla donde se deben agregar tanto el modelo OBJ como el modelo MTL en sus respectivas casillas.

10. Captación de los puntos en Rhinoceros 5

Una vez el ortopedista realiza el proceso de pre-planeación, la herramienta genera las ubicaciones que el doctor coloco en el visualizador 3D como una lista de coordenadas de cada uno de los puntos marcados.

Una vez en rhinoceros se debe abrir el modelo obj obtenido del blender (Importante desde el blender, para poder obtener la posición correcta de los puntos). No se debe manipular la posición manualmente.

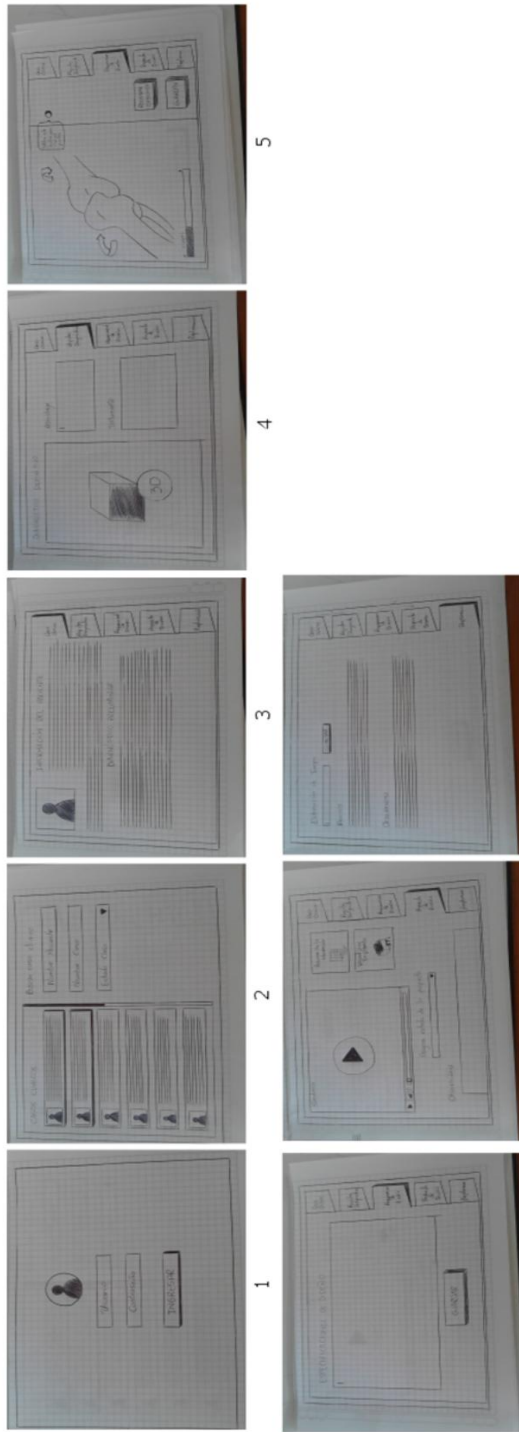
10.1. Colocación del punto en el modelo

De la información obtenida de la herramienta se observa que cada punto se posiciono ordenadamente de acuerdo al orden de colocación del ortopedista, generando una lista con los siguientes datos: (2.0,-1.2,1.0) (2.1,3.3,1.0) Estos datos representan la posición X,Y,Z del centro del punto generado en la herramienta, las unidades que representan estos datos son Centímetros

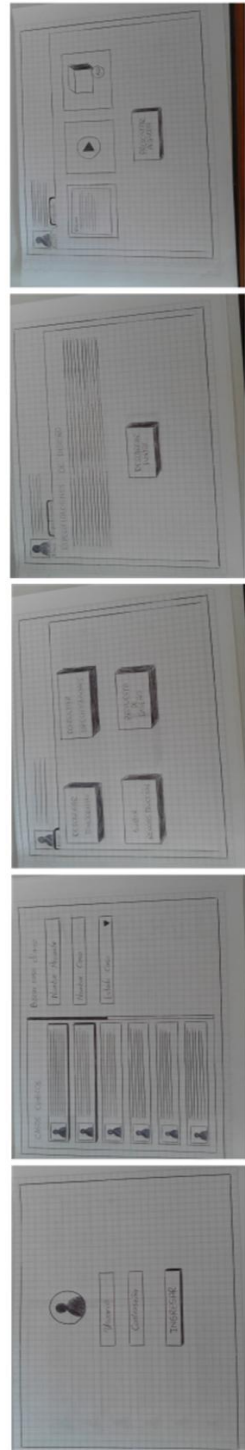
En rhinoceros, se debe colocar las unidades globales en centímetros, se debe crear una esfera de Diámetro 0.5 cm y a cambiarle el color de tal manera que contrasten con el modelo 3D. Esa esfera debe ser alineada al centro de coordenadas global: Mediante la consola de comandos, teniendo seleccionado la esfera que representa el modelo se escribe **Alinear** seguido de la tecla Enter, después se presiona la tecla **C** Enter y finalmente se escribe CERO (numéricamente)

Una vez el punto colocado en el centro de coordenadas global, y sin dejar de seleccionar el punto se debe escribir en la consola **Mover** Enter, le solicitara un punto de referencia el cual se escribirá 0,0,0 Enter y finalmente solicitara el punto a la que moverse, en ese caso se colocara la coordenada, de esta manera -2.0,-1.2,1.0 Enter (sin usar paréntesis, IMPORTANTE la coordenada X se debe colocar con el signo cambiado a la obtenida de la herramienta).

ANEXO F PRIMER Y SEGUNDO PROTOTIPO DE PAPEL



Prototipo de papel Ortopedista



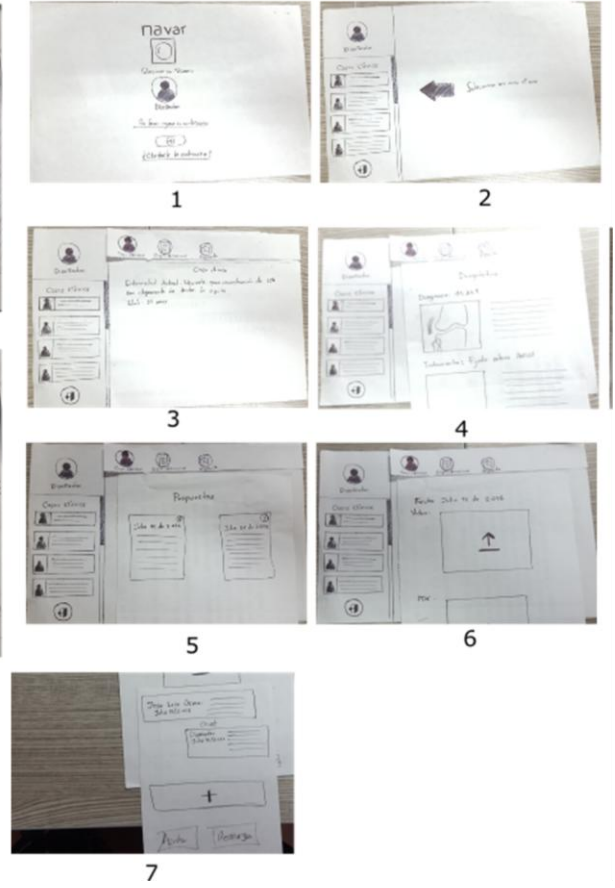
Prototipo de papel Diseñador

ANEXO G TERCER Y CUARTO PROTOTIPO DE PAPEL

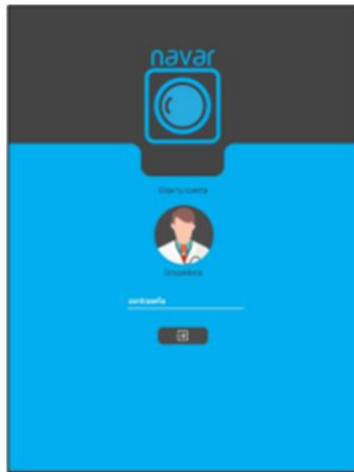
Prototipo de papel Ortopedista



Prototipo de papel Diseñador



ANEXO H PRIMER PROTOTIPO DIGITAL



1



2



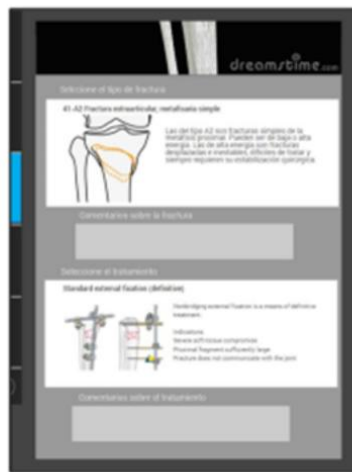
3



4



5

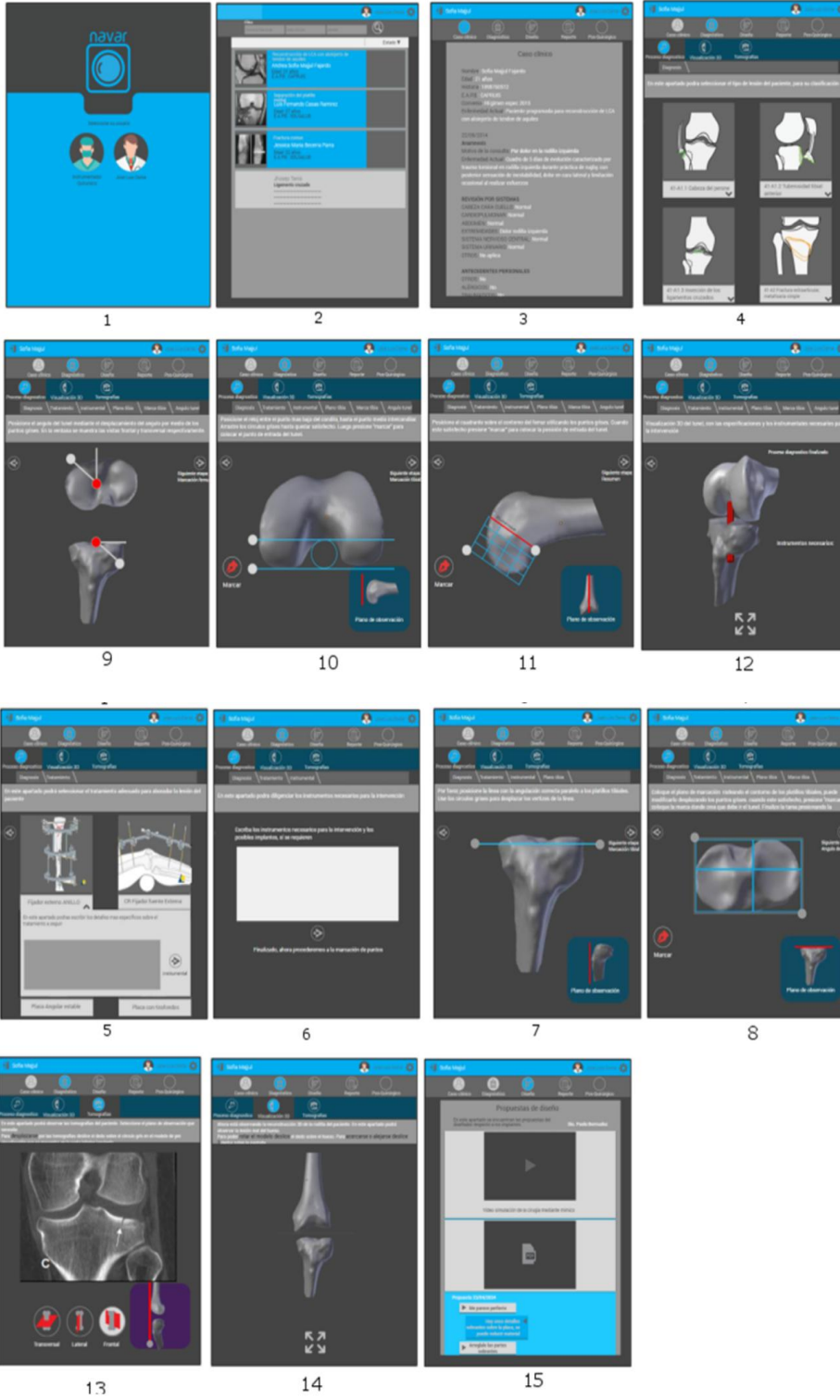


6



7

ANEXO I SEGUNDO PROTOTIPO DIGITAL



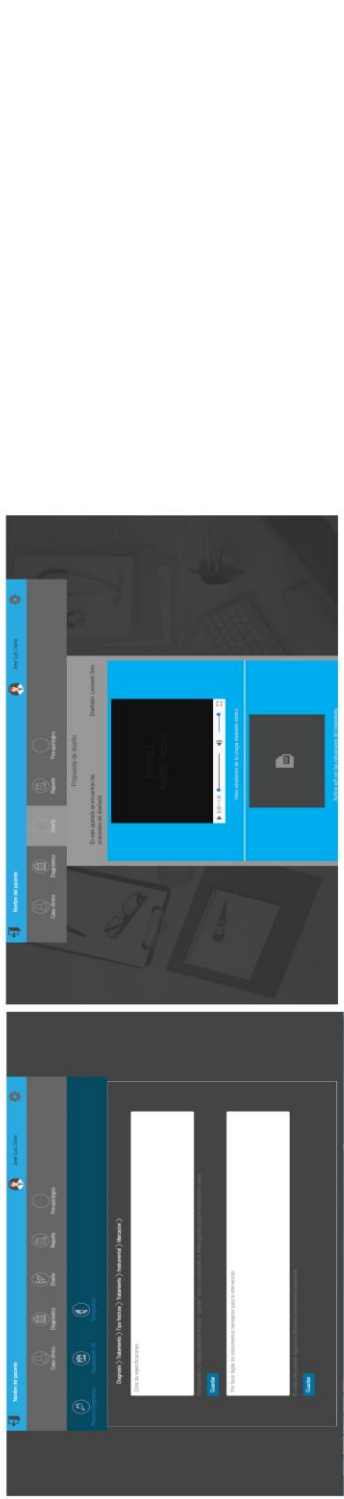
ANEXO J PROTOTIPO DIGITAL DE MEDIA COMPLEJIDAD



1

2

3



4

5

ANEXO K FORMATO DE EVALUACIÓN HEURÍSTICA SIRIUS

CRITERIOS DEL "HEURÍSTICO ASPECTOS GENERALES": Elementos relacionados con los objetivos del sitio, el look & feel, coherencia y nivel de actualización de contenidos.

Código	Criterio	Valor	Relevancia	Comentarios	Valor interno(vc)
AG1	Objetivos del sitio web concretos y bien definidos	8	MA		8
AG2	Contenidos y servicios ofrecidos precisos y completos	7	MA		7
AG3	Estructura general del sitio web orientada al usuario	8	MA		8
AG4	Look & Feel general se corresponde con los objetivos, características, contenidos y servicios del sitio web	9	ME		9
AG5	Diseño general del sitio web reconocible	9	MA		9
AG6	Diseño general del sitio web coherente	7	MA		7
AG7	Se utiliza el idioma del usuario	S	MA		10
AG8	Se da soporte a otro/s idioma/s	NA			0
AG9	Traducción del sitio completa y correcta	NA			0
AG10	Sitio web actualizado periódicamente	NA			0

Instrucciones

1. Evalúe cada criterio y rellene la columna "Valor" según la leyenda
2. Añada sus comentarios o la referencia a los mismos en otro documento anexo en la columna "Comentarios"

Leyenda Valor			
0	No se cumple en absoluto		NEP
10	Se cumple totalmente		NPP
NA	Criterio no aplicable en el sitio		NPI
NTS	No se cumple en todo el sitio		S

CRITERIOS DEL "IDENTIDAD E INFORMACIÓN": Elementos relacionados con la identidad del sitio, la información proporcionada sobre el proveedor y la autoría de los contenidos.

Código	Criterio	Valor	Relevancia	Comentarios	Valor interno(vc)
II.1	Identidad o logotipo significativo, identificable y suficientemente visible	9	ME		9
II.2	Identidad del sitio en todas las páginas	S	ME		10
II.3	Eslogan o tagline adecuado al objetivo del sitio	8	ME		8
II.4	Se ofrece información sobre el sitio web, empresa	S	ME		10
II.5	Existen mecanismos de contacto	S	ME		10
II.6	Se ofrece información sobre la protección de datos de carácter personal o los derechos de autor de los contenidos del sitio web	S	MO		10
II.7	Se ofrece información sobre el autor, fuentes y fechas de creación y revisión en artículos, noticias, informes	NA			0

Instrucciones

1. Evalúe cada criterio y rellene la columna "Valor" según la leyenda
2. Añada sus comentarios o la referencia a los mismos en otro documento anexo en la columna "Comentarios"

Leyenda Valor			
0	No se cumple en absoluto		NEP
10	Se cumple totalmente		NPP
NA	Criterio no aplicable en el sitio		NPI
NTS	No se cumple en todo el sitio		S

CRITERIOS DEL "ESTRUCTURA Y NAVEGACIÓN": Elementos relacionados con la idoneidad de la arquitectura de la información y la navegación del sitio.

Código	Criterio	Valor	Relevancia	Comentarios	Valor interno(vc)
EN.1	Se ha evitado pantalla de bienvenida	NEP	MO		2,5
EN.2	Estructura de organización y navegación adecuada	8	MA		8
EN.3	Organización de elementos consistente con las convenciones	9	ME		9
EN.4	Control del número de elementos y de términos por elemento en los menús de navegación	9	MA		9
EN.5	Equilibrio entre profundidad y anchura en el caso de estructura jerárquica	NPP	MA		5
EN.6	Enlaces fácilmente reconocibles como tales	S	MA		10
EN.7	La caracterización de los enlaces indica su estado (visitados, activos)	NPI	MA		7,5
EN.8	No hay redundancia de enlaces	S	MA		10
EN.9	No hay enlaces rotos	S	MA		10
EN.10	No hay enlaces que lleven a la misma página que se está visualizando	NPI	MO		7,5
EN.11	En las imágenes de enlace se indica el contenido al que se va a acceder	S	MA		10
EN.12	Existe un enlace para volver al inicio en cada página	S	ME		10
EN.13	Existen elementos de navegación que orienten al usuario acerca de dónde está y cómo deshacer su navegación (ej: migas)	S	ME		10
EN.14	Existe mapa del sitio para acceder directamente a los contenidos sin navegar	NPI	ME		7,5

Instrucciones

1. Evalúe cada criterio y rellene la columna "Valor" según la leyenda
2. Añada sus comentarios o la referencia a los mismos en otro documento anexo en la columna "Comentarios"

Leyenda Valor			
0	No se cumple en absoluto		NEP
10	Se cumple totalmente		NPP
NA	Criterio no aplicable en el sitio		NPI
NTS	No se cumple en todo el sitio		S

1 **CRITERIOS DEL "ROTULADO":** Elementos relacionados con la significación, corrección y familiaridad del rotulado de los contenidos.

2	Código	Criterio	Valor	Relevancia	Comentarios	Valor interno(vc)
3	RO.1	Rótulos significativos	NPP	ME		5
4	RO.2	Sistema de rotulado controlado y preciso	NEP	MA		2,5
5	RO.3	Título de las páginas, correcto y planificado	S	MA		10
6	RO.4	URL página principal correcta, clara y fácil de recordar	NA			0
7	RO.5	URLs de páginas internas claras	NA			0
8	RO.6	URLs de páginas internas permanentes	NA			0

9 **Instrucciones**

11 1. Evalúe cada criterio y rellene la columna "Valor" según la leyenda

12 2. Añada sus comentarios o la referencia a los mismos en otro documento anexo en la columna "Comentarios"

13

14

15

16

Leyenda Valor

0	No se cumple en absoluto	NEP
10	Se cumple totalmente	NPP
NA	Criterio no aplicable en el sitio	NPI
NTS	No se cumple en todo el sitio	S

1 **CRITERIOS DEL "LAYOUT DE LA PÁGINA":** Elementos relacionados con la distribución y el aspecto de los elementos de navegación e información en la interfaz

2	Código	Criterio	Valor	Relevancia	Comentarios	Valor interno(vc)
3	LA.1	Se aprovechan las zonas de alta jerarquía informativa de la página para contenidos de mayor relevancia	NPP	ME		5
4	LA.2	Se ha evitado la sobrecarga informativa	S	ME		10
5	LA.3	Es una interfaz limpia, sin ruido visual	S	MA		10
6	LA.4	Existen zonas en blanco entre los objetos informativos de la página para poder descansar la vista	NPI	ME		7,5
7	LA.5	Uso correcto del espacio visual de la página	6	MA		6
8	LA.6	Se utiliza correctamente la jerarquía visual para expresar las relaciones del tipo "parte de" entre los elementos de la página	6	MA		6
9	LA.7	Se ha controlado la longitud de página	NEP	ME		2,5
10	LA.8	La versión impresa de la página es correcta	NA			0
11	LA.9	El texto de la página se lee sin dificultad	S	MA		10
12	LA.10	Se ha evitado el texto parpadeante / deslizando	S	MO		10

14 **Instrucciones**

15 1. Evalúe cada criterio y rellene la columna "Valor" según la leyenda

16 2. Añada sus comentarios o la referencia a los mismos en otro documento anexo en la columna "Comentarios"

17

18

19

Leyenda Valor

0	No se cumple en absoluto	NEP
10	Se cumple totalmente	NPP
NA	Criterio no aplicable en el sitio	NPI
NTS	No se cumple en todo el sitio	S

1 **CRITERIOS DEL "ENTENDIBILIDAD Y FACILIDAD EN LA INTERACCIÓN":** Elementos relacionados con la adecuación y calidad de los contenidos textuales, iconos y controles de la interfaz.

2	Código	Criterio	Valor	Relevancia	Comentarios	Valor interno(vc)
3	EF.1	Se emplea un lenguaje claro y conciso	S	ME		10
4	EF.2	Lenguaje amigable, familiar y cercano	S	ME		10
5	EF.3	Cada párrafo expresa una idea	NPI	ME		7,5
6	EF.4	Uso consistente de los controles de la interfaz	S	ME		10
7	EF.5	Metáforas visuales reconocibles y comprensibles por cualquier usuario (ej.: iconos)	S	MA		10
8	EF.6	Si se usan menús desplegados, orden coherente o alfabético	NPI	MA		7,5
9	EF.7	Si el usuario tiene que rellenar un campo, las opciones disponibles se pueden seleccionar en vez de tener que escribirlas	S	ME		10

11 **Instrucciones**

12 1. Evalúe cada criterio y rellene la columna "Valor" según la leyenda

13 2. Añada sus comentarios o la referencia a los mismos en otro documento anexo en la columna "Comentarios"

14

15

16

17

Leyenda Valor

0	No se cumple en absoluto	NEP
10	Se cumple totalmente	NPP
NA	Criterio no aplicable en el sitio	NPI
NTS	No se cumple en todo el sitio	S

1 **CRITERIOS DEL "CONTROL Y RETORALIMENTACIÓN":** Elementos relacionados con libertad del usuario en la navegación y la información proporcionada al mismo en el proceso de intera

2	Código	Criterio	Valor	Relevancia	Comentarios	Valor interno(vc)
3	CR.1	El usuario tiene todo el control sobre la interfaz	S	ME		10
4	CR.2	Se informa al usuario acerca de lo que está pasando	NPI	ME		7,5
5	CR.3	Se informa al usuario de lo que ha pasado	NEP	ME		2,5
6	CR.4	Existen sistemas de validación antes de que el usuario envíe información para tratar de evitar errores	NPP	MA		5
7	CR.5	Cuando se produce un error, se informa de forma clara y no alarmista al usuario de lo ocurrido y de cómo solucionar el problema	NEP	ME		2,5
8	CR.6	Se ha controlado el tiempo de respuesta	NA			0
9	CR.7	Se ha evitado que las ventanas del sitio anulen o se superpongan a la del navegador	S	ME		10
10	CR.8	Se ha evitado la proliferación de ventanas en la pantalla del usuario	S	ME		10
11	CR.9	Se ha evitado la descarga por parte del usuario de plugins adicionales	S	ME		10
12	CR.10	Si existen tareas de varios pasos, se indica al usuario en cual está y cuantos faltan para completar la tarea	S	ME		10

14 **Instrucciones**

15 1. Evalúe cada criterio y rellene la columna "Valor" según la leyenda

16 2. Añada sus comentarios o la referencia a los mismos en otro documento anexo en la columna "Comentarios"

Leyenda Valor

0	No se cumple en absoluto	NEP
10	Se cumple totalmente	NPP
NA	Criterio no aplicable en el sitio	NPI
NTS	No se cumple en todo el sitio	S

1 **CRITERIOS DEL "ELEMENTOS MULTIMEDIA":** Elementos relacionados con el grado de adecuación de los contenidos multimedia al sitio web.

2	Código	Criterio	Valor	Relevancia	Comentarios	Valor interno(vc)
3	EM.1	Fotografías bien recortadas	NPI	MA		7,5
4	EM.2	Fotografías comprensibles	NPI	MA		7,5
5	EM.3	Fotografías con correcta resolución	NPI	MA		7,5
6	EM.4	El uso de imágenes o animaciones proporciona algún tipo de valor añadido	S	ME		10
7	EM.5	Se ha evitado el uso de animaciones cíclicas	S	ME		10
8	EM.6	El uso de sonido proporciona algún tipo de valor añadido	NA			0

10 **Instrucciones**

11 1. Evalúe cada criterio y rellene la columna "Valor" según la leyenda

12 2. Añada sus comentarios o la referencia a los mismos en otro documento anexo en la columna "Comentarios"

Leyenda Valor

0	No se cumple en absoluto	NEP
10	Se cumple totalmente	NPP
NA	Criterio no aplicable en el sitio	NPI
NTS	No se cumple en todo el sitio	S

1 **CRITERIOS DEL "BÚSQUEDA":** Elementos relacionados con el buscador implementado en el sitio web.

2	Código	Criterio	Valor	Relevancia	Comentarios	Valor interno(vc)
3	BU.1	La búsqueda, si es necesaria, se encuentra accesible desde todas las páginas del sitio	NPP	MO		5
4	BU.2	Es fácilmente reconocible como tal	8	MA		8
5	BU.3	Se encuentra fácilmente accesible	8	MA		8
6	BU.4	La caja de texto es lo suficientemente ancha	8	MA		8
7	BU.5	Sistema de búsqueda simple y claro	7	MO		7
8	BU.6	Permite la búsqueda avanzada	2	MA		2
9	BU.7	Muestra los resultados de la búsqueda de forma comprensible para el usuario	7	MA		7
10	BU.8	Asiste al usuario en caso de no poder ofrecer resultados para una consultada dada	5	ME		5

12 **Instrucciones**

13 1. Evalúe cada criterio y rellene la columna "Valor" según la leyenda

14 2. Añada sus comentarios o la referencia a los mismos en otro documento anexo en la columna "Comentarios"

Leyenda Valor

0	No se cumple en absoluto	NEP
10	Se cumple totalmente	NPP
NA	Criterio no aplicable en el sitio	NPI
NTS	No se cumple en todo el sitio	S

1 **CRITERIOS DEL "AYUDA":** Elementos relacionados con la ayuda ofrecida al usuario durante la navegación por el sitio.

2	Código	Criterio	Valor	Relevancia	Comentarios	Valor interno(vc)	Va
3	AY.1	El enlace a la sección de Ayuda está colocado en una zona visible y estándar	S	MO		10	
4	AY.2	Fácil acceso y retorno al/del sistema de ayuda	6	MO		6	
5	AY.3	Se ofrece ayuda contextual en tareas complejas	S	ME		10	
6	AY.4	FAQs (si las hay) correcta la elección como la redacción de las preguntas	NA			0	
7	AY.5	FAQs (si las hay) correcta la redacción de las respuestas	NA			0	

8
9 **Instrucciones**

- 10 1. Evalúe cada criterio y rellene la columna "Valor" según la leyenda
11 2. Añada sus comentarios o la referencia a los mismos en otro documento anexo en la columna "Comentarios"

Leyenda Valor

0	No se cumple en absoluto	NEP	Nc
10	Se cumple totalmente	NPP	Nc
NA	Criterio no aplicable en el sitio	NPI	Nc
NTS	No se cumple en todo el sitio	S	Se

12
13
14 **CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE USABILIDAD**

4	Porcentaje de usabilidad*	79,44
---	---------------------------	-------

Datos para el cálculo:

Nº de criterios evaluados	71
El sumatorio de los valores de relevancia de los criterios evaluados es:	196 *A los NA no se les aplica relevancia
Sumatorio de la columna i de cada criterio	7,9438775510 *Los NA no se tienen en cuenta
Sumatorio de la columna h *10 de cada criterio	10,0000000000 *Los NA no se tienen en cuenta

5
6
7
8 Se obtiene de aplicar la siguiente fórmula:

$$PU = \frac{\sum_{i=1}^{i=nce} (fci * vci)}{\sum_{i=1}^{i=nce} (fci * 10)} * 100$$

9
10
11 nce: número de criterios evaluados. Será como máximo los 88. Los NA no contabilizan. Se toma de la celda E14 de esta hoja (NumEval)

12 vci: valor de evaluación de un criterio (campo de la columna f "Valor interno" de cada criterio en cada hoja)

13 fci: Factor de corrección aplicado al criterio evaluado.

14 El valor del factor de corrección de cada uno de los criterios evaluados se obtiene de la siguiente manera:

$$fci = \frac{rci}{\sum_{j=1}^{j=nce} rcj}$$

15
16
17 rc: Valor de relevancia que corresponde a un criterio (campo de la columna g "Valor interno de Relevancia")

ANEXO L CAPTURAS PROTOTIPO FINAL

