

**HERRAMIENTAS DE VISUALIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE PATRONES
GEOMÉTRICOS EN FRACTURAS DE MESETA TIBIAL PARA LA DEFINICIÓN
DE REQUERIMIENTOS PARA EL ABORDAJE QUIRÚRGICO**

KELLY JOHANA MALAGÓN CHAPARRO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICOMECANICA
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA**

2019

**HERRAMIENTAS DE VISUALIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE PATRONES
GEOMÉTRICOS EN FRACTURAS DE MESETA TIBIAL PARA LA DEFINICIÓN
DE REQUERIMIENTOS PARA EL ABORDAJE QUIRÚRGICO**

KELLY JOHANA MALAGÓN CHAPARRO

Proyector de grado para obtener el título de Diseñadora Industrial

Directora:

CLARA ISABEL LÓPEZ GUALDRÓN

Magíster Ingeniería de Materiales

Codirector:

JOSÉ LUIS OSMA RUEDA

Magíster en Epidemiología

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICOMECANICA
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA**

2019

DEDICATORIA

Para mi familia, especialmente a mi madre.

AGRADECIMIENTOS

A Profesores, Ortopedistas y Residentes, gracias por su colaboración durante el desarrollo de este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.1 TÍTULO DEL PROYECTO	19
1.2 JUSTIFICACIÓN	19
1.3 OBJETIVOS.....	21
1.3.1 Objetivo general.....	21
1.3.2 Objetivos específicos	21
2. MARCO TEÓRICO	22
2.1 FRACTURAS DE MESETA TIBIAL	22
2.2 SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN	23
2.2.1 Sistema de clasificación de Schatzker.....	23
2.2.2 Sistema de clasificación de tres columnas.....	26
2.2.3 Sistema de clasificación de cuatro cuadrantes	27
2.3 TOMOGRAFÍA AXIAL COMPUTARIZADA (TAC)	28
2.4 IMÁGENES TOMOGRÁFICAS BI Y TRIDIMENSIONALES	30
2.5 VISORES DE ARCHIVOS DICOM	31
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	34
3.1 INGENIERÍA INVERSA	34
3.2 IMPRESIÓN 3D	36
3.3 DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADOR	37
3.4 BIOMODELOS.....	38
3.5 USO DE BIOMODELOS EN EL TRATAMIENTO DE FRACTURAS	40
4. METODOLOGÍA	43
4.1 INDAGAR.....	43

4.1.1 Entrevista.....	44
4.1.2 Prácticas implementadas para el tratamiento de fracturas de meseta tibial en el HUS.	44
4.1.3 Problemáticas presentes en la clasificación y planeación en fracturas de meseta tibial.....	46
4.1.4 Clasificación de casos.....	48
4.1.5 Conclusiones.	51
4.2 DEFINIR.....	52
4.2.1 Árbol de problemas.....	52
4.2.2 Identificación de necesidades para la caracterización y planeación en fracturas de meseta tibial.....	54
4.2.3 Especificación.....	55
4.3 IDEAR.....	60
4.3.1 Alternativa 1: Instrumento de segmentación basada en el sistema de clasificación de cuatro cuadrantes.....	61
4.3.2 Alternativa 2: Biomodelos virtuales para la caracterización de fracturas de meseta tibial.....	64
4.3.3 Alternativa 3: Biomodelos impreso para la caracterización de fracturas de meseta tibial.....	68
4.4 EVALUAR.....	71
4.4.1 Clasificación de fracturas de meseta tibial a partir de la integración de nuevas tecnologías.....	71
4.4.2 Clasificación de fracturas de meseta tibial a partir de la integración del instrumento de segmentación.....	78
4.4.3 Características morfológicas en diferentes tipos de fractura de meseta tibial enfocado en la clasificación de tres columnas.....	84
4.4.4 Integración de nuevas tecnologías en el protocolo para el tratamiento de fracturas de meseta tibial.....	86
4.4.5 Flujo de trabajo.....	89

4.4.6 Flujo de trabajo para la integración del instrumento de segmentación como herramienta de aprendizaje para la caracterización de la fractura de meseta tibial basado en el sistema de cuatro cuadrantes	93
5. CONCLUSIONES	95
BIBLIOGRAFÍA	98

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sistema de clasificación de schatzker.	24
Figura 2. Sistema de clasificación de tres columnas.	26
Figura 3. Representación la clasificación de cuatro cuadrantes.	28
Figura 4. Relación de tonalidad en escala de grises de diferentes tejidos internos.	30
Figura 5. Relación de información de cada imagen tomográfica axial por la totalidad de la zona de hueso fracturado.	32
Figura 6. Visualización de fractura de meseta tibial en imágenes tridimensionales por medio del visor Meditech.	33
Figura 7. Etapas y consideraciones para el proceso de impresión de modelos tridimensionales de la meseta tibial.	41
Figura 8. Modelo en software Mimics Innovation Suit.	42
Figura 9. Metodología para la integración de nuevas tecnologías y procedimientos en el tratamiento de nuevas tecnologías.	43
Figura 10. Prácticas para el tratamiento de fracturas de meseta tibial.	45
Figura 11. Causa, problemas y consecuencias en el tratamiento de fracturas de meseta tibial.	47
Figura 12. Árbol de problemas.	53
Figura 13. Categorización de necesidades en relación a las etapas de clasificación y planeación para el tratamiento de fracturas de meseta tibial.	55
Figura 14. Esquema del instrumento de segmentación de las zonas de la meseta tibial basado en la clasificación de cuatro cuadrantes.	62
Figura 15. Modificación del instrumento de segmentación para fracturas de meseta tibial.	63

Figura 16. Partes del instrumento de segmentación basado en el sistema de clasificación de cuatro cuadrantes.	64
Figura 17. Procedimiento etapas y actividades de Sub-alternativa 1.....	65
Figura 18. Procedimiento de etapas y actividades Sub-alternativa 2.....	66
Figura 19. Visualización de biomodelos virtuales en vista superior realizados en dos softwares BIOCAD diferentes.	67
Figura 20. Esquema de la prueba.....	72
Figura 21. Representación de segmentación de la meseta basado en el sistema de cuatro cuadrantes.	73
Figura 22. Valoración del coeficiente Kappa.....	75
Figura 23. Concordancia inter observador.....	76
Figura 24. Concordancia inter observador.....	77
Figura 25. Concordancia inter observador con instrumento	79
Figura 26. Concordancia intra observador con instrumento.	80
Figura 27. Percepción del biomodelos e instrumento de segmentación por parte del evaluador 1 para el tratamiento de fracturas.....	81
Figura 28. Percepción del biomodelos e instrumento de segmentación por parte del evaluador 2 para el tratamiento de fracturas.....	82
Figura 29. Percepción del biomodelos e instrumento de segmentación por parte del evaluador 3 para el tratamiento de fracturas.....	83
Figura 30. Clasificación de 22 casos de meseta tibial basado en el sistema de tres columnas.	85
Figura 31. Frecuencia de fractura por columna en la zona de la meseta tibial.	86
Figura 32. Propuesta de integración de nuevas tecnologías en el protocolo para el tratamiento de fracturas de meseta tibia.....	87
Figura 33. Esquema de correlación entre los involucrados, etapas y validación. ..	89
Figura 34. Flujo de trabajo para la integración de biomodelos al tratamiento de fracturas de meseta tibial.....	92
Figura 35. Flujo de trabajo para la integración del instrumento de segmentación.	94

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de casos con sistema de clasificación de tres columnas. ...	49
Tabla 2. Matriz necesidades- métricas, tecnologías y prácticas.	57
Tabla 3. Comparación de artículos en relación a métricas, tecnologías y prácticas.	59
Tabla 4. Especificaciones parciales.	60
Tabla 5. Comparación de tiempos en software BIOCAD.	68
Tabla 6. Características de impresión en modelos de fractura de meseta tibial. ...	69
Tabla 7. Características de la impresión del biomodelo de meseta tibial.	70
Tabla 8. Tipos de abordajes basados en los tipos de fracturas presentes según el sistema de tres columnas.	74
Tabla 9 Especificaciones finales	93

LISTA DE ANEXOS

(Ver anexo adjunto en el CD y pueden visualizarlo en la base de Datos de la biblioteca UIS)

Anexo A. Ficha de clasificación y encuestas.

Anexo B. Prueba de concordancia inter e intra observador.

Anexo C. Flujo de trabajo para la integración de nuevas tecnologías para el tratamiento de fracturas de meseta tibial.

RESUMEN

TITULO: HERRAMIENTAS DE VISUALIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE PATRONES GEOMÉTRICOS EN FRACTURAS DE MESETA TIBIAL PARA LA DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS PARA EL ABORDAJE QUIRÚRGICO*

AUTORA: KELLY JOHANA MALAGÓN CHAPARRO**

PALABRAS CLAVE: Integración de Tecnología Biocad/CAD/ Impresión 3D, Clasificación de Fracturas de Meseta Tibial, Ingeniería Inversa, Modelos Impresos 3D.

DESCRIPCIÓN:

El presente proyecto se realizó como modalidad de pasantía de investigación contemplado en el proyecto de investigación interno VIE “Modelo de integración de tecnologías en el desarrollo de implantes para pacientes específicos”, el cual se enfocó en el tratamiento de las fracturas de la meseta tibial en el Hospital Universitario de Santander, con integración de tecnologías que permitan generar herramientas para la visualización e identificación de fracturas complejas a este nivel.

El proyecto se inicia consultando a ortopedistas y residentes sobre el manejo que tienen instaurado de las fracturas de la meseta tibial en el HUS, luego haciendo una revisión de la literatura con énfasis en las diferentes clasificaciones y principales problemas en el manejo de fracturas complejas a este nivel, así como las dificultades para identificar la personalidad de cada fractura y su posible tratamiento, y con estos hallazgos definir requerimientos para proponer herramientas que nos permita una mejor identificación de todos los componentes de una fractura en la meseta tibial, que faciliten la toma de decisiones para el mejor tratamiento posible.

En concordancia con lo anterior, se plantearon diversas alternativas para optimizar una clasificación y una mejor comprensión de los trazos de fractura, lo que se avalúo caracterizando diversos casos de fracturas, con la integración de las herramientas propuestas. Con estos resultados se procuró establecer la concordancia inter e intra observador, además de la percepción de residentes y ortopedistas con diferentes niveles de experiencia en el tratamiento de fracturas de la meseta tibial, con respecto a las herramientas propuestas. De lo anterior se concluye que la implementación de biomodelos impresos permite mejorar la concordancia intra-observador, aunque es claro que por ahora este tipo de innovación no parece ser bien aceptado por ortopedistas según nuestra percepción durante las entrevistas, de acuerdo al concepto que dice: “todo cambio causa rechazo”.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingeniería Físicomecánica. Escuela de Diseño Industrial. Directora: Clara Isabel López Gualdrón, Magíster Ingeniería de Materiales. Codirector: José Luis Osma Rueda, Magíster en Epidemiología

ABSTRACT

TITLE: VISUALIZATION TOOLS AND GEOMETRIC PATTERNS IDENTIFICATION IN TIBIAL PLATE FRACTURES FOR THE DEFINITION FOR SURGICAL APPROACH REQUIREMENTS*

AUTHOR: KELLY JOHANA MALAGON CHAPARRO**

KEYWORDS: Integration of Biocad / CAD / 3D Printing Technology, Classification Of Tibial Plate Fractures, Reverse Engineering, 3d Printed Models.

DESCRIPTION:

The present project was carried out as research internship modality contemplated in the internal research project VIE "Technologies Integration Model in the development of implants for specific patients", which focused on the tibial plateau fractures treatment from the University Hospital of Santander, with integration of technologies that allow generating visualization and identification tools of complex fractures at this level.

The project starts by consulting orthopedists and residents doctors about the management of the tibial plateau fractures in the Santander university hospital, later on made review the literature with emphasis on the different classifications and main problems in the complex fractures management in this level, as well as the difficulties to identify the of each fracture personality and its treatment possible, and with these findings, define requirements to propose tools that allow us a better identification of all fracture components on the tibial plateau in the sagittal plane, coronal and axial, which make easier to know the best possible treatment.

In agreement with the above, several alternatives were proposed to optimize a classification and a better compréhension of the fracture traces, which was assessed by characterizing various cases of fractures, with the integration of the proposed tools. With these results we tried to establish the inter and intra observer concordance, in addition to the residents and orthopedists perception with different experience levels on the treatment of the tibial plateau fractures, with respect to the proposed tools. Finally, it is concluded that printed biomodels implementation allows to improve the intra-observer concordance, although is clear for now this innovation type doesn't seem accepted by some residents and orthopedists according to our perception during the interviews, keeping that says: "every change cause rejection"

* Degree Project

** Faculty of Ingenierías Físico-Mecánicas, School of Industrial Design, Manager: Clara Isabel López, Comanager: José Luis Osma Rueda

INTRODUCCIÓN

Se acepta en la literatura que las fracturas de la rodilla representan alrededor del 1% al 2% de todas las fracturas de la economía corporal¹, La consecuencia de estas lesiones son inestabilidad, diversos grados de déficit funcional por dolor y alteración de la biomecánica con posibles artrosis postraumática. Esto enfatiza la importancia de lograr una reducción lo más anatómica posible de la superficie articular y restauración del eje mecánico², para no generar inestabilidad articular debido a las cargas axiales que se presentan en la zona de la rodilla³.

Para la compresión de la fractura es necesario la realización de la toma de datos en lo que se comprende las imágenes diagnósticas como la radiografía o la tomografía axial computarizada (TAC), debido a que le permite al ortopedista observar la presencia de líneas de fractura⁴. Actualmente el TAC es el examen diagnóstico que se recomienda implementar en el tratamiento de fracturas de meseta tibial, en este examen se obtiene unas secuencias de imágenes que permiten al ortopedista visualizar el estado de la lesión, aunque la imagen brinda información útil de la zona afectada tiende a ser muy extenso. Llevando a que el ortopedista tenga que realizar un seguimiento imagen por imagen del trazo o trazos de fractura presentes, para luego interpretar y hacerse una idea mental de la fractura en total, este proceso tiende a ser complejo de realizar y en algunos casos confuso⁵.

¹ KOKKALIS, Zinon. ILIOPOULOS, Ilias. PANTAZIS, Constantinos, et al. ¿What's new in the management of complex tibial plateau fractures? En: Injury. Marzo, 2016.vol. 47 no. 6, p. 1162-1169.

² JUNIOR, Mauricio. FOGAGNOLO, Fabrício, et al. Tibial Plateau Fractures. En: Revista Brasileira de Ortopedia. 2009. vol. 44 no. 4, p. 468-474.

³ BISHOP, Julius. GITHERNS, Michael. Surgical Treatment of Posterior Tibial Plateau Fractures. EN: Operative Techniques in Orthopaedics. Septiembre, 2015. vol. 25 no. 4, p. 242-247.

⁴ HU, Yan-Ling. Ye, Fa-Gang, et al. Three-dimensional computed tomography imaging increases the reliability of classification systems for tibial plateau fractures. En: Injury. Febrero, 2009. vol. 40 no. 59, p. 1282-1285.

⁵ KOKKALIS, ILIOPOULOS, PANTAZIS, et al. Op. Cit.

El proceso para la identificación de trazos de fractura en el TAC es necesario para poder clasificar y definir un tratamiento, por lo que se han realizado diversos estudios que busca implementar imágenes tridimensionales en el tratamiento de fracturas de meseta tibial con el propósito de facilitar la identificación de patrones y zonas donde se presenta la lesión. Uno de esos estudios lo desarrolló el Centro de Investigación de orto-traumas en Ámsterdam, Países Bajos. Donde se evaluó si la integración de imágenes tomográficas tridimensionales adicionada a las tomografías bidimensionales y a las radiografías simples, permite facilitar la interpretación de fracturas de meseta tibial. Para ello se optó por utilizar diferentes sistemas de clasificación como el AO Foundation y Schatsker. La investigación concluyó que la reconstrucción 3D del TAC permite una mejor comprensión de los trazos de fractura y así mismo facilita la clasificación⁶.

Actualmente se han integrado nuevas tecnologías que han permitido desarrollar aportes en el campo de medicina, uno de ellos es el diseño de guías a partir de softwares CAD Y BIOCAD, esto ha permitido aumentar la precisión en el abordaje quirúrgico. Los software en conjunto con los exámenes diagnósticos* y la impresión 3D han permitido generar herramientas que fijan la trayectoria de los tornillos en el hueso logrando así mejorar la fijación del implante al hueso ⁷. También se han integrado software enfocados en la reconstrucción preoperatoria de las fracturas que ayudan en la planeación quirúrgica a partir de modelos virtuales obtenidos de la tomografía axial computarizada; el software segmenta los fragmentos por colores con el propósito de mejorar su identificación y reubicarlos virtualmente a su posición original, esto en teoría puede ayudar a los cirujanos a formular un plan quirúrgico ⁸.

⁶ DOORNBERG, Job. RADEMAKERS, Maarten. Two-dimensional and three-dimensional computed tomography for the classification and characterisation of tibial plateau fractures. En: Injury. Marzo, 2011. Vol. 42 no. 12, p. 1416-1425.

* Resonancia magnética y tomografía axial computarizada.

⁷ HUANG, Huajun. HSIEH, Ming-Fa, et al. Improved accuracy of 3D-printed navigational template during complicated tibial plateau fracture surgery. En: Australasian Physical and Engineering Sciences in Medicine. Enero, 2015. vol. 38 no. 1, p. 109-117.

⁸ SUERO, Eduardo. HÜFNER, Tobías, et al. Use of a virtual 3D software for planning of tibial plateau fracture reconstruction. En: njury. Octubre, 2010. vol. 41 no. 6, p. 589-591.

Con base al panorama expuesto en los apartados anteriores, el objetivo del presente trabajo en modalidad pasantía de investigación asociado al proyecto de investigación interno: “*Modelo de integración de tecnologías para el desarrollo de implantes para pacientes específicos*”, consiste en proponer herramientas que integren tecnologías CAD o BIOCAD en el tratamiento de fracturas de meseta tibial para la visualización e identificación de líneas de fractura manejadas en el Hospital Universitario de Santander (HUS) y establecer estrategias para una adecuada caracterización.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 TÍTULO DEL PROYECTO

Herramientas de visualización e identificación de patrones geométricos en fracturas de meseta tibial para la definición de requerimientos para el abordaje quirúrgico.

1.2 JUSTIFICACIÓN

¿Cómo mejorar los procesos asociados a la observación, interpretación, definición y toma de decisiones relacionados con el diagnóstico orientado a la caracterización de fracturas de meseta tibial?

En el Hospital Universitario de Santander se presentaron 338 casos de traumas en las epífisis tibiales superior e inferior (desde el 2013 hasta 2015), encontrándose entre ellos casos de fractura de la meseta tibial*. Cuando se presentan traumatismos en esta región articular se compromete la movilidad de la extremidad, por lo que en algunos casos es importante recurrir a un tratamiento oportuno que permita reconstruir la superficie articular para restaurar lo mejor posible la anatomía función y biomecánicas⁹. El tratamiento debe brindarle al paciente los mejores resultados por lo que es indispensable identificar todas las fracturas presentes, y así determinar

*La meseta tibial es el extremo proximal de la tibia, que forma con el extremo distal del fémur y la rótula los componentes óseos de la articulación de la rodilla

⁹ LUO, Cong-Feng. SUN, Hui, et al. Three-Column Fixation for Complex Tibial Plateau Fractures. En: J Orthop Trauma. Noviembre ,2010. vol. 24 no. 11, p. 683-692.

un diagnóstico y abordaje asertivo para minimizar secuelas postraumáticas como dolor crónico y artrosis.¹⁰.

Se han buscado diversas soluciones con el propósito de generar mejores resultados en el tratamiento de fracturas de meseta tibial, uno de ellos es el surgimiento de sistemas de clasificación, como es el caso de los sistemas de schatzker, AO Foundation y el sistema de tres columnas. El sistema de clasificación de tres columnas a comparación de los otros sistemas está basado en la tomografía lo que permite comprender zonas de la meseta no abordadas en los otros sistemas¹¹.

La visualización de imágenes tomográficas tridimensionales no solo se ha enfocado expresamente en la etapa de clasificación, sino que ha permitido al ortopedista, en etapas posteriores comprender con mayor facilidad el trauma en comparación con el uso de imágenes radiográficas, como lo es en las etapas de planeación y abordaje quirúrgico¹². Debido a que permite en algunos casos una vista de la superficie articular y la compresión de la fractura para poder definir la escogencia del implante¹³.

Este proyecto busca a partir del TAC y la integración de nuevas tecnologías aportar herramientas que le faciliten a los ortopedistas y a residentes la identificación de patrones de fracturas en casos presentes en la unidad de ortopedia del Hospital Universitario de Santander. También de generar herramientas que le permita la compresión global del trauma para su clasificación.

¹⁰ SUERO, HÜFNER, et al. Op. Cit.

¹¹ LUO, SUN, et al. Op. Cit.

¹² HU, YE, et al. Óp. Cit.

¹³ MELLEMA, DOORNBERG, et al. Óp. Cit. p. 944-949.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general. Proponer un modelo de visualización que facilite los procesos asociados al diagnóstico e identificación de líneas de fractura de la meseta tibial, para la caracterización por medio de la integración de tecnologías BIOCAD/CAD e impresión 3D.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar oportunidades para la integración de modelos de visualización por medio de revisión de literatura y análisis de las prácticas médico-quirúrgicas en ortopedistas del HUS.
- Definir herramientas de visualización para la conformación de un flujo de trabajo integrando tecnologías BIOCAD/CAD e impresión 3D en el proceso de diagnóstico.
- Identificar la recurrencia de líneas de fractura en las columnas de la meseta en casos presentados en el HUS para establecer los tipos de clasificación más frecuentes.
- Evaluar las herramientas de visualización para determinar la mejora de concordancia intra e inter observador por medio de la clasificación de casos presentados en el HUS.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 FRACTURAS DE MESETA TIBIAL

Una de las zonas de la tibia que puede presentar conminución es la meseta tibial, ubicada en la epífisis proximal de hueso, y está articulada con cóndilos femorales^{*14} para formar la articulación de la rodilla¹⁵. Esta zona de la tibia es considerada por los ortopedistas como complejas de tratar, debido a que se debe restaurar la superficie articular y lograr una estabilidad en la meseta, con el objetivo de evitar consecuencias desfavorables y lograr restaurar el movimiento de la zona afectada¹⁶.

Los tipos de traumas que se presentan en la meseta tibial tienen características diversas, las cuales dependen de diferentes aspectos como el tipo de fuerza ejercida, la edad del paciente, la magnitud de la fuerza aplicada, la dirección de la misma, el Angulo de flexión de la rodilla durante el impacto o la calidad del hueso del paciente¹⁷. Cuando la fractura de meseta se presenta en adultos jóvenes tienden a ser consecuencia de un trauma de alta energía y en personas ancianas tienden a ocasionarse por traumas de baja energía¹⁸. Esto lleva a que se presenten características de fragmentación diversas; cuando las fracturas se presentan en pacientes jóvenes los fragmentos tienden a ser grandes y en forma de cuña debido

* Protuberancia redondeada en la extremidad de fémur que le permite encajar para formar la articulación.

¹⁵ SCOTT, W. Lower Limbs. Nsall & Scott surgery of the knee. Elsevier Health Sciences, 2012. p153.

¹⁶ STROET, Martijn. HOLLA, Micha, et al. The value of a CT scan compared to plain radiographs for the classification and treatment plan in tibial plateau fractures. En: Emerg Radiol. Marzo, 2011. vol 18, p. 279-283.

¹⁷ JUNIOR, FOGAGNOLO, et al. Óp. Cit.

¹⁸ YOON, Richard. LIPORACE, Frank. EGOL, Kenneth. Definitive Fixation of Tibial Plateau Fractures. {En línea} {09 febrero de 2019} disponible en: (<http://dx.doi.org/10.1016/j.ocl.2015.02.005>).

a la fuerza ejercida, pero en pacientes de edad avanzada tienden a presentarse un hundimiento de la superficie de la meseta tibial¹⁹.

Por lo anterior el objetivo del tratamiento en fracturas de meseta tibial es la restauración de la superficie y permitir el funcionamiento mecánico de la articulación, por lo que el cirujano tiene que definir diferentes aspectos pertinentes durante el tratamiento; uno de ellos es la identificación del patrón de fractura presente para poder caracterizarlo en un sistema de clasificación, otro aspecto es definir la técnica quirúrgica a implementar y la realización de la planeación previa a la cirugía²⁰.

2.2 SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN

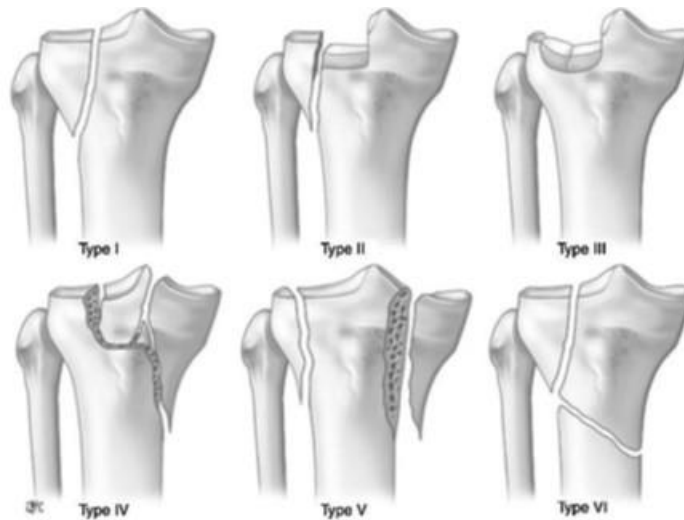
2.2.1 Sistema de clasificación de Schatzker. Es el sistema de clasificación comúnmente utilizado por los ortopedistas para la caracterización de fractura de la meseta tibial y se clasifica en 6 tipos de traumas presentadas en la figura 1²¹.

¹⁹ ZHU, Yi. YANG, Guang, et al. Computed tomography-based Three-Column Classification in tibial plateau fractures: Introduction of its utility and assessment of its reproducibility. En: Trauma Acute Care Surg. Enero, 2012. vol. 73 no. 3, p. 731-737.

²⁰ JUNIOR, FOGAGNOLO, et al. Óp. Cit.

²¹ GICQUEL, Thomas. VENDEUVRE, Tanguy. Tibial plateau fractures: Reproducibility of three classifications (Schatzker, AO, Duparc) and a revised Duparc classification. En: Orthopaedics and Traumatology: Surgery and Research. Junio, 2013. vol 99 no. 7, p. 805-816.

Figura 1. Sistema de clasificación de schatzker.



Fuente. Tibial plateau fractures: Reproducibility of three classifications (Schatzker, AO, Duparc) and a revised Duparc classification.

Según Gicquel los tipos de fractura para la clasificacion de schatzker son²²:

Fractura tipo I: Es una fractura de desplazamiento puro de la meseta lateral por no existir hundimiento de la superficie articular, debido a que ocurre usualmente en pacientes jóvenes los cuales presentan fortaleza del hueso esponjoso, y se presenta frecuentemente un desgarre en el menisco²³.

Fractura tipo II: Es una fractura de desplazamiento y depresión que ocurre en pacientes con algún grado de osteoporosis, comúnmente en personas mayores, en estos casos determinar la ubicación de la depresión es primordial para la planificación de la incisión quirúrgica²⁴.

²² GICQUEL, VENDEUVRE, Op. Cit.

²³ Ibid. p. 805-816.

²⁴ Ibid.

Fractura tipo III: Este tipo de fractura se caracteriza por presentar un hundimiento de la superficie articular como resultado de un trauma de baja energía, esta lesión es más común en pacientes ancianos con osteoporosis, en estos casos es poco común una la lesión del ligamento²⁵.

La fractura tipo IV: Se presenta en la zona del cóndilo media causada por una fractura de alta energía, debida un mecanismo de varo forzado y compresión axial, esta lesión se caracteriza por presentar una alta incidencia de daño en el ligamento cruzado anterior y lateral, distensión del nervio peroneal y daño de la arteria poplítea y del menisco interno²⁶.

La fractura tipo V: En esta fractura se presenta un desplazamiento de los dos cóndilos tibiales, lo que lleva a que se presente un patrón característico que es la fractura del cóndilo medial con la fractura deprimida o desplazada del cóndilo lateral, es causado por un mecanismo de alta energía²⁷.

La fractura tipo VI: es la disociación metafiso-diafisiaria es decir la separación de la meseta y la diáfisis de la tibia, son fracturas que dividen el hueso en varias partes y presenta una alta incidencia de síndrome compartimental, es decir, un aumento de la presión en un compartimento muscular y un daño vascular producido por la aplicación de tracción²⁸.

²⁵ GICQUEL, VENDEUVRE, Óp. Cit.

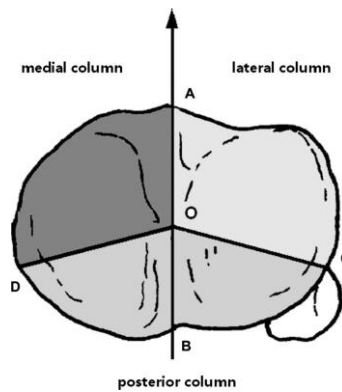
²⁶Ibid. p. 805-816.

²⁷Ibid.

²⁸Ibid.

2.2.2 Sistema de clasificación de tres columnas. Es un sistema de clasificación definido por el Departamento de Ortopedia y Trauma III de Shanghai Sixth People's Hospital, en Shanghái, China. Que ha resultado de la necesidad de considerar algunos patrones de fractura no considerados en los otros sistemas de clasificación, debido a la falta de conocimiento de fracturas en las zonas posteromedial y posterolateral, y al presentarse dificultad para comprender esa zona en una radiografía²⁹.

Figura 2. Sistema de clasificación de tres columnas.



Fuente Three-column classification and Schatzker classification: a three- and two-dimensional computed tomography characterisation and analysis of tibial plateau fractures.

Este tipo de clasificación busca proporcionar mayor información de la fractura en la superficie intra articular, por lo que se basa en segmentar la meseta tibial en tres zonas, partiendo de unos puntos anatómicos. Las zonas o columnas son definidas como posterior, medial y lateral presentados en la figura 2. Dependiendo de la zona donde se presente fracturas se recomienda un tipo de abordaje y planeación quirúrgica que busque estabilizar la superficie afectada³⁰.

²⁹ ZHU, YANG, et al. Óp. Cit.

³⁰ Ibíd. p. 731-737.

Para la clasificación se parte de seccionar en la meseta un corte transversal en el TAC que contiene la mayor zona de la cabeza del peroné y la espina del cóndilo para referenciar los puntos anatómicos; El primer punto denominado punto O ubicado en el punto medio de las dos espinas tibiales, en el centro de la rodilla, el siguiente punto denominado punto A se encuentra en la zona anterior de la meseta específicamente en la tuberosidad tibial anterior, el punto C se ubica en la zona más anterior de la cabeza del peroné y el punto D representa el borde medial y posterior de la meseta tibial. Estos puntos referenciados en la figura 2 dividen la meseta tibial en tres partes a partir de tres líneas OA, OC y OD. La zona que se encuentra entre las líneas OA y OC se denomina **columna lateral**, la zona entre las líneas OA Y OD se denomina **columna medial** y la última zona que se encuentra entre las líneas OC y OD se denomina **columna posterior**. Por último se proyecta la línea OA en la zona posterior de la meseta hasta el borde para ubicar el punto B en el surco posterior, resultando la línea OB la cual divide la columna posterior en dos zonas; entre las líneas OC y OB se denomina posterolateral y entre OB y OD se denomina zona posteromedial³¹.

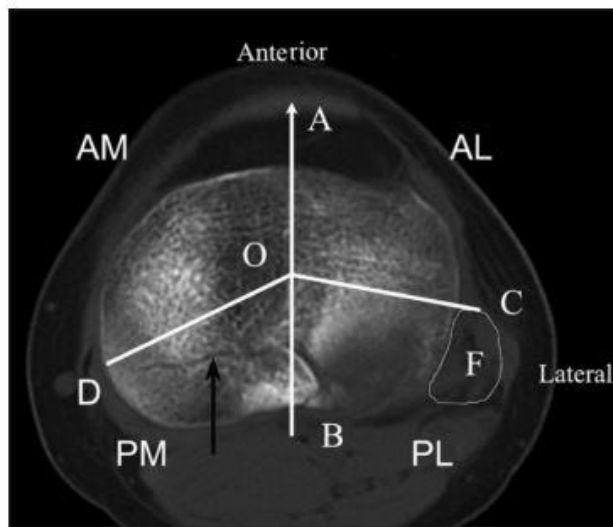
2.2.3 Sistema de clasificación de cuatro cuadrantes Está basado en el artículo “Morphological Characteristics of Posterolateral Articular Fragments in Tibial Plateau Fractures” presentándose como una modificación del sistema de clasificación de tres columnas, donde se establece seleccionar el corte axial del TAC a nivel subcontral de la meseta tibial y dividirlo de la siguiente manera: los puntos A, O y C se unen a partir de una línea para dividir la meseta en medial y lateral; los puntos C y D se unen a partir de una línea al punto O.

La zona delimitada por las líneas OA y OD corresponde al cuadrante anteromedial (AM), las líneas OA y OC delimita el cuadrante anterolateral (AL). Este sistema de clasificación se diferencia al de tres columnas porque las líneas OB Y OD delimita

³¹ ZHU, YANG, et al. Óp. Cit.

el cuadrante posteromedial (PM) y las líneas OB y OC delimita el cuadrante posterolateral (PL)³². Al delimitarse la meseta se determina en que zona presenta fragmentación y se clasifica, es decir si en el TAC se presenta fragmentación en el cuadrante posteromedial se clasifica como una fractura posteromedial como se observa en la figura 3.

Figura 3. Representación la clasificación de cuatro cuadrantes.



Fuente Morphological Characteristics of Posterolateral Articular Fragments in Tibial Plateau Fractures.

2.3 TOMOGRAFÍA AXIAL COMPUTARIZADA (TAC)

Se caracteriza por ser la modalidad más frecuente de obtención de imágenes diagnósticas para el tratamiento de fracturas de meseta tibial, para la etapa de clasificación y planeación quirúrgica. Este examen brinda al ortopedista imágenes

* Tejido óseo situado debajo del cartílago en la articulación.

³² XIANG, Gao. ZHI-JUN, Pan. QIANG, Zheng. HANG, Li, et al. Morphological Characteristics of Posterolateral Articular Fragments in Tibial Plateau Fractures. En: Orthopedics. Octubre, 2013. vol 36, no. 10, p 1256-1261.

diagnosticas para que se pueda tener un conocimiento del estado, la localización y magnitud de las lesiones presentes³³.

La tomografía axial computarizada es un proceso donde un tubo genera un haz de rayos x que pasa a través del paciente y es captado por unos detectores que se encuentra en sentido contrario, tanto el tubo como los detectores rotan alrededor del paciente con el propósito de obtener de cada rotación, una imagen que contenga la información de las densidades de los tejidos internos las cuales se representan en una imagen en escala de grises³⁴. En cada rotación o corte se escanea un segmento muy pequeño del paciente resultando un gran número de imágenes tomográficas para escanear una zona determinada. Hay que tener en cuenta que cada corte tiene un grosor establecido que puede ser desde los 0.5mm hasta los 20mm, dependiendo de la calidad de imágenes que se busca obtener³⁵.

Cuando se va realizar el TAC se busca obtener la mayor calidad de las imágenes por ello se debe considerar algunos aspectos para la realización del examen diagnóstico: el primer aspecto que es el grosor del corte que influye en la calidad del biomodelo virtual e impreso, puesto que a menor sea el grosor mayor, mayor será el número de cortes y por consiguiente mayor será la cantidad de imágenes por la zona analizada. Pero al presentarse un grosor muy pequeño conlleva a un aumento del tiempo donde el paciente puede generar pequeños movimientos que conllevan a que se presente menor contraste en las imágenes. El segundo aspecto a tener en cuenta es el tamaño del pixel, cada imagen contiene un cierto número de pixeles, al disminuir el tamaño del pixel aumenta el detalle de la imagen y proporcionalmente la calidad pero a la vez mayor será el tiempo en que dure el examen³⁶.

³³ JUNIOR, FOGAGNOLO, et al. Óp. Cit.

³⁴ VÁSQUEZ, Javier. Tac – tach – tem – tcmd manual práctico de tomografía. p. 15-88.

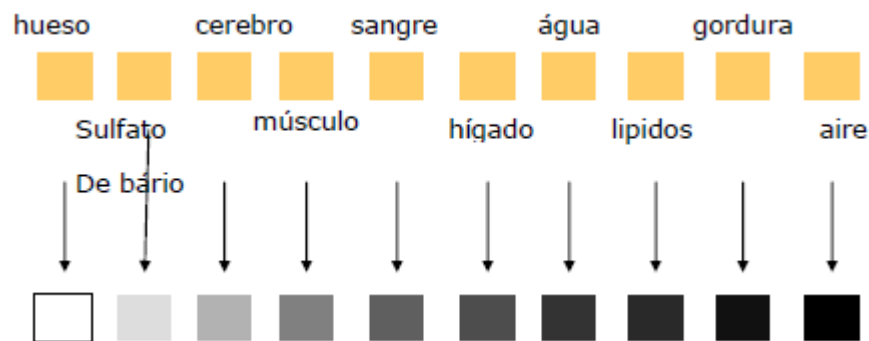
³⁵ *Ibíd.*,

* Nitidez o cantidad de detalle que puede observar en una imagen.

³⁶ VÁSQUEZ. Óp. Cit, p.15-88.

El TAC representa la información obtenida en una secuencia de imágenes caracterizadas por venir en escala de grises, lo cuales representa las densidades de los diferentes tejidos internos presentes, donde los tonos más claros representa tejidos más densos por ejemplo el hueso y los tonos más oscuros representan tejidos menos densos como la piel, para lo cual dependiente del tejido que se quiera analizar, se tiene que tener en claro el tono de gris que corresponda como está representado en la figura 4³⁷.

Figura 4. Relación de tonalidad en escala de grises de diferentes tejidos internos.



Fuente Tac – tach – tem – tcmd manual práctico de tomografía.

2.4 IMÁGENES TOMOGRÁFICAS BI Y TRIDIMENSIONALES

En los traumas de meseta tibial las imágenes del TAC son consideradas de mayor precisión que la radiografía simple, ya que permiten la caracterización y clasificación de todas las zonas de la meseta fracturadas debido a que se considera que en la radiografía es más difícil identificar el tipo de fractura de la zona posterior de la meseta, lo que puede llevar a métodos quirúrgicos o de fijación

³⁷ JUNQUERIA, Paulo. FRANCO, Thiago, et al. Software InVesalius Guía do Usuário. 2007. p. 8-10.

inadecuados³⁸. También se considera que las imágenes tomográficas son de suma importancia en la etapa de planificación quirúrgica y diagnóstico preoperatorio por permitir la visualización de las trazos de fracturas presentes³⁹.

La implementación de las imágenes resultado del TAC, logran mejorar el acuerdo entre los ortopedistas, en relación de la ubicación de las líneas de fractura y los fragmentos presentes en casos de traumas de la zona de la meseta tibial, a la vez permite establecer en que zonas se presentan hundimiento. Logrando establecer un procedimiento donde se contemplen entre los ortopedistas las mismas zonas para el tratamiento quirúrgico⁴⁰. También se ha demostrado que con la ayuda de las imágenes TAC se puede identificar lesiones no solamente en la zona del hueso, sino en los ligamentos de la rodilla⁴¹.

2.5 VISORES DE ARCHIVOS DICOM

La información obtenida del examen diagnóstico se entrega al ortopedista por medio de tomogramas* donde el ortopedista visualiza la zona escaneada para determinar si se presenta fractura. Debido a que no es suficiente para el ortopedista solo visualizar unas pocas secciones del hueso, por el hecho que solo brinda información de pequeños segmentos como se observa en la figura 5⁴².

³⁸ ZHU, YANG, et al. Op. Cit.

³⁹ MARKHARDT, Keegan. GROSS, Jonathan. Schatzker Classification of Tibial Plateau Fractures: Use of CT and MR Imaging Improves Assessment. En: RadioGraphics. Marzo, 2009. vol. 29, no. 2, p. 585-598.

⁴⁰ BRUNNER, Alexander. HORISBERGER, Monika, et al. Classification systems for tibial plateau fractures; Does computed tomography scanning improve their reliability?. En: Injury. 2010. vol 41, p. 173-178.

⁴¹ MARKHARDT. Op. Cit., p. 585-598.

⁴² HU, YE, et al. Op. Cit.

* Imagen obtenida de la tomografía.

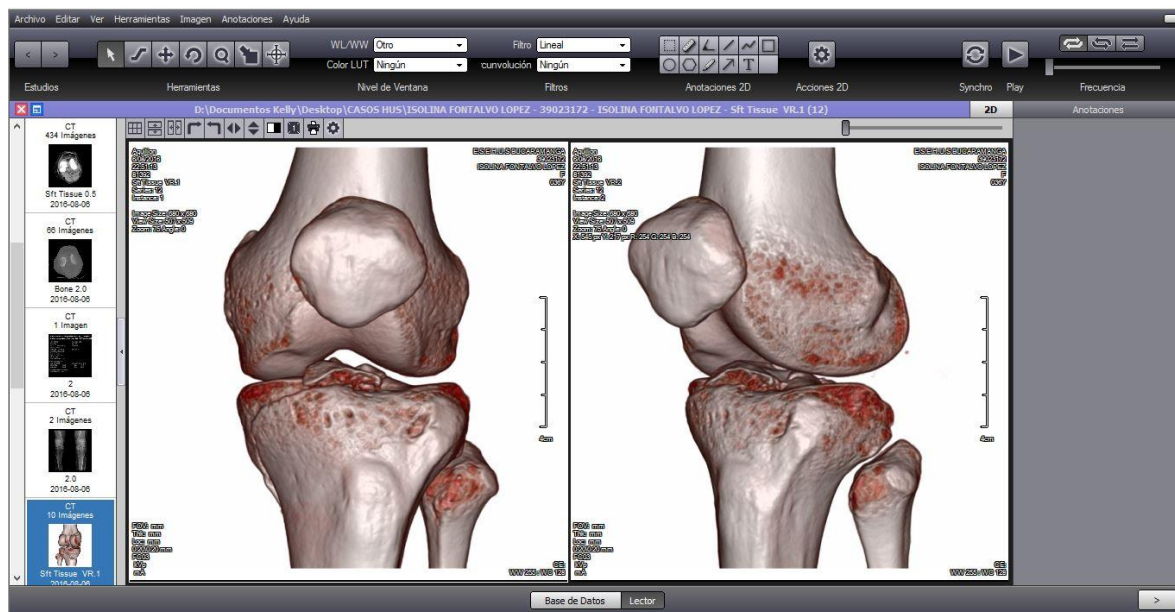
Figura 5. Relación de información de cada imagen tomográfica axial por la totalidad de la zona de hueso fracturado.



Fuente: Two-dimensional and threedimensional computed tomography for the classification and characterisation of tibial plateau fractures.

Cuando se presentan fracturas de meseta tibial y se realiza el examen de tomografía axial computarizada en el HUS, se ha optado por implementar visores de archivos DICOM, los cuales son aplicativos que permite la visualización de las secuencias de imágenes obtenidas de la tomografía. Estos aplicativos son entregados al ortopedista en CD-ROM, en conjunto con las imágenes obtenidas de la tomografía guardada en formato de archivo DICOM. Al abrir el aplicativo el ortopedista puede observar secuencias de imágenes en diferentes planos (coronal, sagital y axial), también permite conocer otros aspectos como los datos personales del paciente y en algunos casos visualizar unas imágenes tridimensionales de la fractura (como se observa en la figura 6). Estos visores son entregados por el técnico de tomografía al ortopedista o residente en un CD y se ejecuta automáticamente al abrir y darle clic en el icono del aplicativo, por lo cual no es necesario realizar instalaciones para consultar la información

Figura 6. Visualización de fractura de meseta tibial en imágenes tridimensionales por medio del visor Meditech.



Fuente: Meditech®.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 INGENIERÍA INVERSA

Hace parte de la aplicación del diseño mecánico y la fabricación de productos que no presenta modelo CAD* pero si un modelo tangible, La ingeniería inversa (RE) parte de la necesidad de poder obtener la información de modelos físicos, con el propósito de ser reproducidos o rediseñados para lo que es necesario partir de la medición del objeto⁴³. Esta técnica permite a partir de un objeto tangible obtener un modelo virtual, lo cual diverge a procesos de creación donde comúnmente comienza en el diseño de un objeto a partir del diseño asistido por ordenador para finalizar con la transformación de la materia prima en producto⁴⁴.

La RE ha permitido obtener modelos de manera rápida y con gran precisión logrando mayor eficiencia en el desarrollo de nuevos productos, esta metodología que integra tecnologías de medición, no solamente toma en cuenta la digitalización de modelos, sino también brinda otras ventajas como: reducir el costo para el desarrollo de nuevos productos, acortar el ciclo de diseño del producto y mejorar la precisión de fabricación. La RE ha podido lograr desarrollar productos que no solo permitan un buen funcionamiento y calidad sino también productos más estéticos y de paso más competitivos en el mercado⁴⁵.

*Abreviatura de diseño asistido por computador.

⁴³ LIN, Yan-Ping. WANG, Cheng-Tao, et al. Reverse engineering in CAD model reconstruction of customized artificial joint. En: Medical Engineering & Physics. 2005. vol 27, p. 189-193.

⁴⁴ LIU, Zhenkai. WANG, Lihui, et al. Integrating cross-sectional imaging based reverse engineering with rapid prototyping. En: Computers in industry. Septiembre, 2005. vol 57, p. 131-140.

⁴⁵ ZHANG, Jianchao. YU, Zhihong, et al. Overview of 3D Printing Technologies for Reverse Engineering Product Design. En: Automatic Control and Computer Sciences. Enero, 2016. vol 50, no. 2, p. 91-97.

Para poder aplicar la RE es pertinente tener en cuenta tres pasos fundamentales: el primer paso es la adquisición de datos, ya que afecta directamente la precisión de la información del objeto escaneado, por lo que se presentan diversas maneras de medición tridimensional que se clasifica en dos tipos: el primer tipo es el equipo de medición de contacto y el segundo tipo es el equipo de medición de NO contacto; que dependiendo del instrumento de escaneo o de medición cambia el tiempo y la calidad del modelo virtual obtenido⁴⁶.

El segundo paso es el procesamiento de datos, como se presentan diversas maneras de adquisición de datos, en algunos casos no llegan a ser lo suficientemente óptimos, llevando a que se presenten errores por lo que se recurre a utilizar un software para procesar la información. El último paso para aplicar en la RE es la reconstrucción del modelo, considerado como el más extenso, debido a que en esta etapa se debe editar el modelo para que quede perfectamente construido⁴⁷.

La RE aparte de implementarse en el diseño mecánico y en la fabricación de productos industriales ha llegado a campos como la medicina, generando aportes significativos en el tratamiento de traumas apoyándose en los exámenes diagnósticos. Los datos obtenidos de exámenes como el TAC o la resonancia magnética permiten generar modelos de estructuras anatómicas para ser utilizados en diversas etapas del tratamiento como en el diagnóstico, la planeación preoperatoria o para poder realizar simulaciones quirúrgicas⁴⁸.

También se ha aplicado esta metodología en el diseño de implantes, como es el caso del diseño de articulaciones artificiales para la zona de la rodilla, donde se personaliza el implante a partir de las dimensiones del hueso del paciente. Esto ha

⁴⁶ Ibid.

⁴⁷ 2 Ibid. p. 91-97.

⁴⁸ HIEU, L. ZLATON, N, et al. Medical rapid prototyping applications and methods. En: Assembly Automation. 2005. vol 25, no. 4, p. 284-292.

permitido considerar que con la RE se puedan obtener formas de superficies complejas que se adaptan a las necesidades del paciente, reduciendo a la vez el proceso de recuperación postoperatorio y disminuyendo así las complicaciones y los costos a futuro⁴⁹.

3.2 IMPRESIÓN 3D

Se considera una tecnología que permite la fabricación de modelos físicos a partir de modelos CAD, la cual se puede aplicar por medio de diferentes técnicas de impresión, basadas en la fabricación a partir de la adición del material en vez de la sustracción, esto ha permitido obtener modelos en un menor tiempo en comparación a otros procesos de fabricación⁵⁰. La impresión 3D se basa en la generación de un modelo a partir de un proceso completamente automatizado, donde se adiciona gradualmente el material, con la ayuda de una maquina llamada impresora 3D, esta permite la fabricación de objetos físicos a partir de un modelo virtual⁵¹.

Aunque se utilice el mismo principio de la adición de material en la impresión 3D, se puede realizar con diferentes técnicas categorizadas en tres principales: la primera técnica es la fotopolimerización; caracterizada por utilizar un material polimérico líquido que se solidifica capa por capa al entrar en contacto con la luz ultravioleta. La segunda técnica es la de aglomeración de polvo agrupado; la cual consiste en aplicar capas finas de polvo del material siguiendo un láser que traza el modelo y funde las partículas para que se fusionen generando así las capas del modelo. La

⁴⁹ LIN, WANG, et al. Op. Cit.

⁵⁰ YONGNIAN, Yan. SHENGJIE, LI, et al. Rapid Prototyping and Manufacturing Technology: Principle, Representative Technics, Applications, and Development Trends. En: Tsinghua Science and Technology. Junio, 2009. vol. 14, p. 1-12.

⁵¹ BERCHON, Mathilde. LUYT, Bertier. La impresión Guía definitiva para Makers, diseñadores, estudiantes, profesionales, artistas y manitas en general. Barcelona: Gustavo Gili, 2016. p 17-33.

última categoría es la de extrusión de material, que se basa en la aplicación sucesiva de un filamento de material basado en la forma de modelo virtual⁵².

La impresión 3D se ha aplicado en diferentes aspectos en el campo de la medicina, entre los cuales se han categorizado en dos principales; la primera categoría es el diseño y fabricación de biomodelos, los cuales son modelos físicos que replican partes anatómicas para que los cirujanos visualice y comprenda el estado en que se presenta la zona para su tratamiento, en esta categoría también se encuentran las herramientas de ayudas quirúrgicas las cuales permiten aumentar la precisión en la cirugía y minimizar el tiempo. La segunda categoría es la obtención de modelos de entrenamiento para simular el abordaje quirúrgico logrando aportar en el mejoramiento de habilidades en los estudiantes para la realización de cirugías⁵³.

3.3 DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADOR

El CAD o diseño asistido por computador se puede definir como el uso de sistemas informáticos para la asistencia en la creación, transformación y análisis de productos. Actualmente se implementan softwares CAD para el diseño de productos industriales, los cuales han brindado mejoras significativas relacionado a la precisión y la reducción del tiempo en la generación del producto⁵⁴.

Los avances de la tecnología CAD en hardware y software ha permitido aplicarse no solamente en el diseño de productos para la industria, sino también se ha implementado en la ingeniería biomédica enfocado en el diseño personalizado de implantes. Esto se debe en parte al desarrollo de tecnologías relacionadas a los

⁵² Ibid., p. 17-33.

⁵³ HIEU, ZLATON, et al. Op. Cit.

⁵⁴ GROOVER, Mikell. ZIMMERS, Emory. CAD/CAM: Computer-aided design and manufacturing. Editorial Mary Carnis, 1984.

exámenes diagnósticos que permite la obtención de datos para la conversión de imágenes diagnosticas a modelos tridimensionales de estructuras anatómicas⁵⁵.

3.4 BIOMODELOS

El desarrollo de tecnologías de imágenes médicas volumétricas como el TAC o la resonancia magnética (RM), junto con la ingeniería inversa y softwares enfocados en la reconstrucción de imágenes diagnosticas ha logrado obtener modelos de estructuras anatómicas llamados modelos BIO-CAD. Estos modelos virtuales son implementados en el desarrollo de productos como prótesis, guías quirúrgicas o implantes. Pero también para generar modelos impresos que representa físicamente estructuras anatómicas como órganos, huesos u otros, estos modelos BIO-CAD físicos o biomodelos se logran con la ayuda de la impresión 3D⁵⁶.

Los biomodelos se han implementado en la medicina para la planificación quirúrgica y la simulación en el abordaje operatorio como para la producción de prótesis maxilofaciales, aportando principalmente en poder brindar una retroalimentación táctil y espacial de la estructura analizada, facilitando a la vez al cirujano una planeación donde se reduce el tiempo operatorio y el sangrado. Los biomodelos 3D permiten obtener modelos en diferentes colores que pueden ser útiles para fines educativos, de investigaciones o para dar un aspecto natural. La obtención de los biomodelos impresos comúnmente se logra a partir de la aplicación de metodologías basadas en la ingeniería inversa⁵⁷.

⁵⁵ SUN, Wei. STARLY, Binil. NAM, Jae, et al. Bio-CAD modeling and its applications in computer-aided tissue engineering. En: CAD Computer Aided Design. Febrero, 2005. vol. 37 no 11, p 1097-1114.

⁵⁶ *Ibíd.*

⁵⁷ MATÍAS, Mariana. ZENHA, Horácio. COSTA, Horácio, et al. Three-Dimensional Printing: Custom-Made Implants for Craniomaxillofacial Reconstructive Surgery. En: CAD Computer Aided Design. Enero, 2017. vol 10 no 2, p 89-98.

Para la obtención de biomodelos para ser implementados en el campo de la medicina se sugiere considerar los siguientes aspectos que permite mejorar el detalle de la impresión: El primero aspecto es garantizar la adquisición de datos volumétricos de alta presión de la estructura anatómica, por medio del TAC o MRI*, por lo que se sugiere un espesor no mayor de la capa de 1mm en el momento de realizar el examen imagenológico. El segundo aspecto a considerar es el procesamiento de imágenes para obtener la zona de interés, los cuales requieren de softwares que primero traduzca las imágenes médicas en un archivo CAD y que luego seccione los datos para adecuarlo a procesos de impresión 3D. El tercer aspecto es el proceso de fabricación o de impresión a partir de la adicción del material, donde se debe escoger el tipo de material de impresión más adecuado según las necesidades del modelo. El último aspecto es garantizar la calidad del modelo y la precisión dimensional donde se debe considerar si es necesario verificar su exactitud. También para la impresión de biomodelos se debe tener en cuenta que la precisión del biomodelo impreso depende directamente de la precisión del TAC, en otras palabras, a menor sea el espesor del corte del examen tomografico más detallado va a ser el biomodelo impreso⁵⁸.

* Abreviatura en ingles de Magnetic Resonance Imaging (Imágenes de resonancia magnética, prueba diagnóstica).

⁵⁸ MATÍAS, ZENHA, COSTA, et al. Óp. Cit.

3.5 USO DE BIOMODELOS EN EL TRATAMIENTO DE FRACTURAS

La generación de biomodelos impresos con el fin de ser integrados en la etapa de planeación para determinar el abordaje quirúrgico ha facilitado la realización de toma de medidas. Estos biomodelos impresos representan la fractura con exactitud para su implementación en la planeación o simulación quirúrgica en el caso de uniones defectuosas de la meseta en la zona lateral⁵⁹.

Además, los biomodelos virtuales según el departamento de ingeniería biomecánica de la universidad de Chung Yuan Christian de Taiwan. Han permitido en fracturas de meseta tibial mejorar la exactitud en el abordaje, debido a que posibilita el diseño de guías quirúrgicas que se imprimen y se implementan para precisar la trayectoria tornillo en el hueso durante la operación⁶⁰.

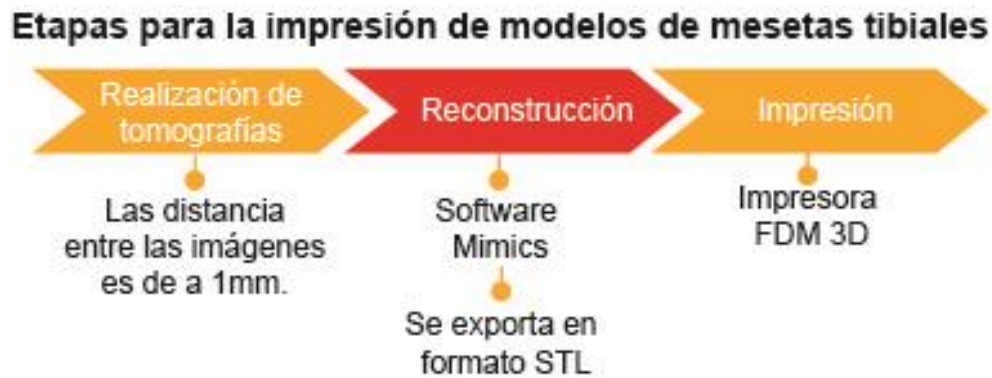
Para la integración de biomodelos impresos en el caso de uniones defectuosas de fracturas de meseta tibial el Department of Orthopedics and Trauma Surgery del hospital de Changzheng en Shanghai, China. Han considerado algunos aspectos para la reconstrucción e impresión de los biomodelos: el primer aspecto es la realización del TAC; donde se tuvo en cuenta que el espesor de las imágenes no fuera mayor a 1mm, el segundo aspecto fue la utilización de un software para la reconstrucción de imágenes a modelo virtual como aparece en la siguiente figura, en este estudio se utilizó un software BIOCAD llamado MIMICS®, por último se consideró que para el proceso de impresión es indispensable exportar el modelo a un formato STL para ser impreso en una impresora 3D en este estudio se utilizó la impresora FDM 3D. Estos aspectos se representan en la siguiente figura ⁶¹.

⁵⁹ YANG, Peng. DU, Di. ZHOU, Zhibin. 3D printing-assisted osteotomy treatment for the malunion of lateral tibial plateau fracture. En: Injury. Septiembre, 2016. vol 47 no 12, p 2816-2821.

⁶⁰ HUANG, HSIEH, et al. Op. Cit.

⁶¹ YANG, DU, ZHOU, et al. Op. Cit.

Figura 7. Etapas y consideraciones para el proceso de impresión de modelos tridimensionales de la meseta tibial.

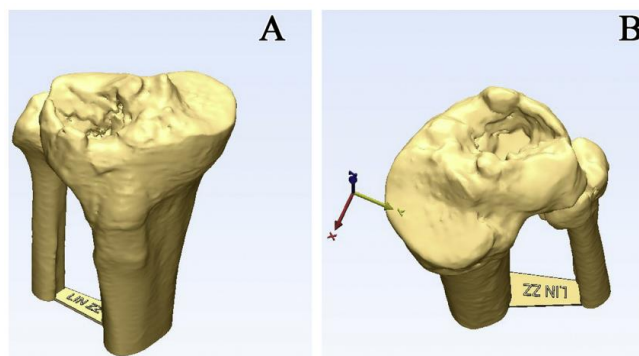


Fuente: Basado en 3D printing-assisted osteotomy treatment for the malunion of lateral tibial plateau fracture.

Al integrar los biomodelos impresos (como se observa en la figura 8) en el tratamiento uniones defectuosas en fracturas de la meseta tibial especialmente en la planeación quirúrgica ha permitido mayor precisión en la reconstrucción de la meseta, como también poder calcular la cantidad de injerto óseo y posibilitar la comparación del modelo impreso con los tipos de placas disponibles, tomando en cuenta la longitud y la adaptación a la superficie ósea⁶².

⁶² Ibid.

Figura 8. Modelo en software Mimics Innovation Suit.

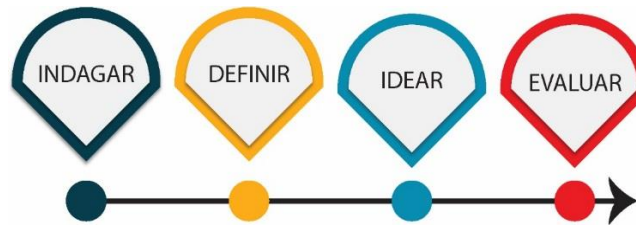


Fuente: 3D printing-assisted osteotomy treatment for the malunion of lateral tibial plateau fracture.

4. METODOLOGÍA

La metodología permite brindar un orden y un lineamiento para el desarrollo del proyecto de investigación, debido a que se busca integrar nuevas tecnologías y procedimientos en el tratamiento de fracturas de meseta tibial, esta metodología contempla cuatro fases presentadas en la siguiente figura.

Figura 9. Metodología para la integración de nuevas tecnologías y procedimientos en el tratamiento de nuevas tecnologías.



4.1 INDAGAR

En esta fase se busca tener un conocimiento claro sobre las prácticas implementadas actualmente en el tratamiento de fracturas de meseta tibial, también de conocer el sistema o los sistemas de clasificación aplicados por los ortopedistas y residente en el HUS.

Para poder obtener la información es necesario establecer los siguientes aspectos:

- Identificar las prácticas utilizadas para el tratamiento de fracturas de meseta tibial.
- Socializar con ortopedistas y residentes para la recolección de información sobre las problemáticas presentes en el tratamiento de fracturas de meseta tibial.

Para la identificación de aspectos relevantes en el proyecto se realizó las siguientes actividades:

4.1.1 Entrevista. Con el propósito de buscar información que le brinde aportes al proyecto, se partió de la fase de indagación con una entrevista dirigida a ortopedistas y residentes del Hospital Universitario de Santander (HUS), con el objetivo de conocer las prácticas utilizadas para el tratamiento de fractura de meseta tibial especialmente en las etapas de clasificación y planeación. La entrevista se le realizó a cuatro residentes de ortopedia y tres ortopedistas del hospital universitario, con más de un año de experiencia en tratar fracturas de meseta tibial.

Para esta actividad se le presento a cada ortopedista y residente un ficha donde se explicaba el propósito de la entrevista y se le solicito responder algunas preguntas las cuales iban hacer grabadas en audio, la entrevista tuvo una duración no mayor a 8 minutos donde se realizaron 9 preguntas para indagar sobre: el protocolo utilizado por los ortopedistas para el tratamiento de fracturas de meseta tibial, las herramientas implementadas, los sistemas de clasificación utilizados, la importancia de la visualización tridimensional en fracturas, la importancia de las imágenes tomografías, los problemas y precauciones que se deben tener en cuenta en el proceso.

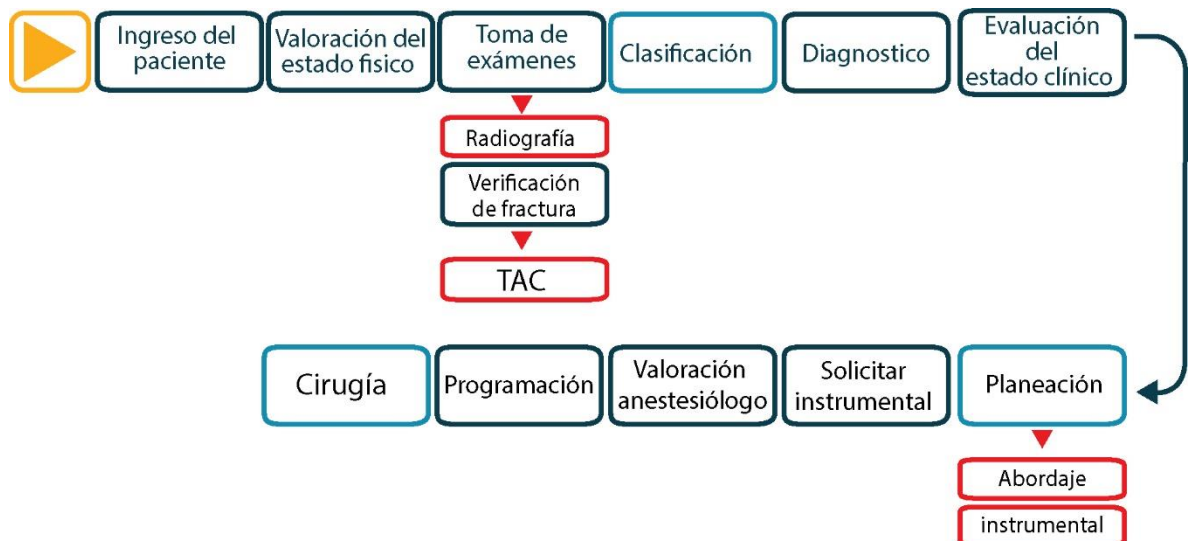
4.1.2 Prácticas implementadas para el tratamiento de fracturas de meseta tibial en el HUS. El proceso comienza con la llegada del paciente a urgencia, donde es recibido por la jefe de enfermería la cual valora el estado de ingreso del paciente y los signos vitales, dependiendo de la complejidad que presente el paciente y si muestra más de una lesión, la jefe remite al paciente a un médico general.

Luego si se considera que en la zona de la rodilla se presenta un compromiso de la tibia proximal se remite al ortopedista o residente de turno, el cual evalúa al paciente y verifica si se presenta una lesión, por lo cual ordena la toma de una radiografía

para evaluar el estado de la zona afectada, en caso de que considere que la lesión tiende a ser compleja o la información de las imágenes radiográficas no son lo suficiente para clasificar la lesión, se recurre a realizar una tomografía computarizada.

En la etapa de clasificación el ortopedista utiliza las imágenes diagnósticas para poder identificar la fractura presente, los sistemas de clasificación implementados es el de tres columnas y Schatzker, dependiendo de la zona se clasifica la fractura y se establece un diagnóstico. Luego se evalúa el estado clínico del paciente para ver si es necesario realizar una cirugía con el propósito de reconstruir la zona afectada, para proseguir con la toma de decisiones o la planeación donde se establece el procedimiento quirúrgico que se va a ejecutar, el tipo de instrumental e implante que se utilizara y las zonas donde es más conveniente ubicarlo. Consecuente a la planeación el ortopedista solicita el material y la valoración por el anestesiólogo para proceder a programar la cirugía donde se debe solicitar el instrumental (ver figura 10).

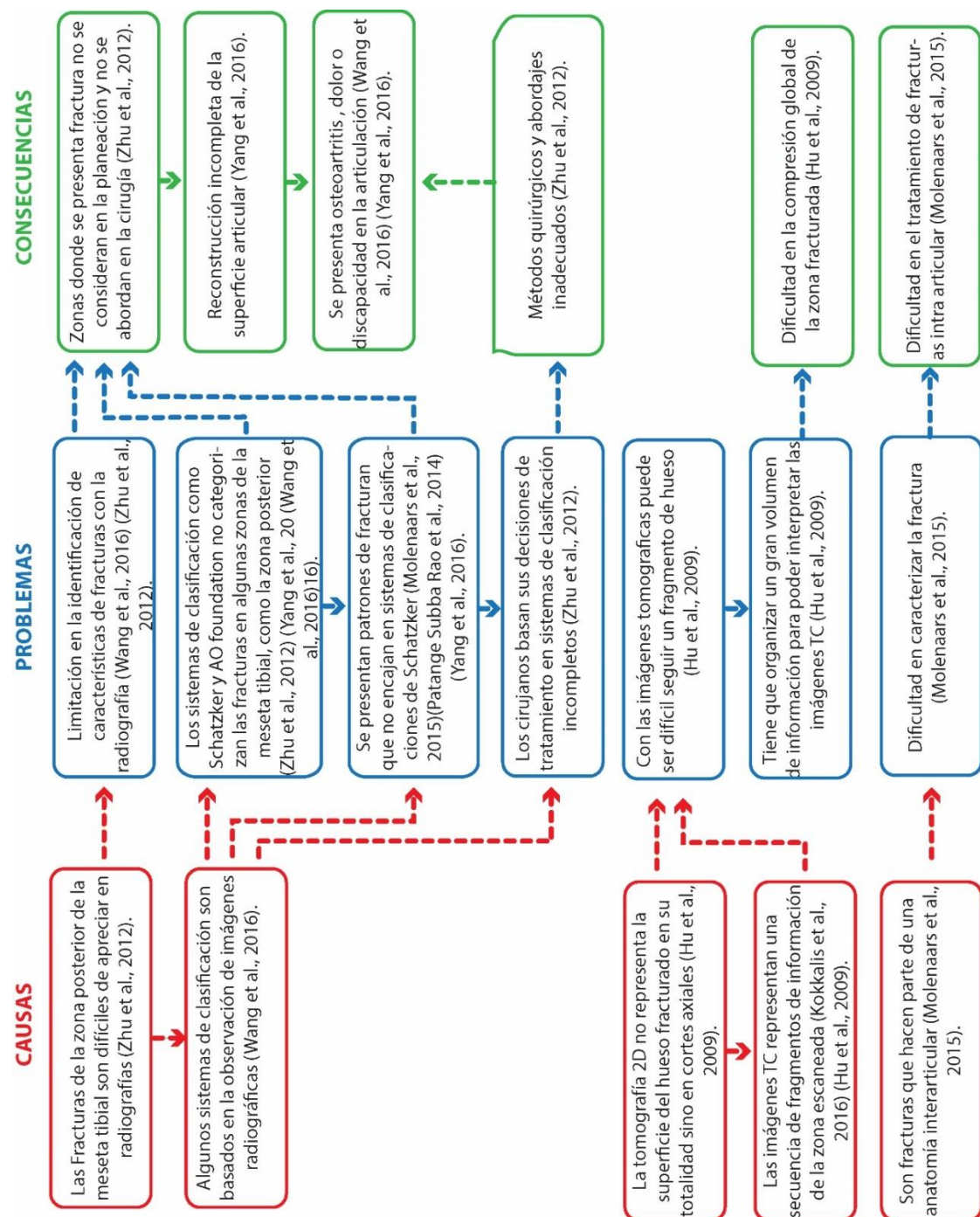
Figura 10. Prácticas para el tratamiento de fracturas de meseta tibial.



4.1.3 Problemáticas presentes en la clasificación y planeación en fracturas de meseta tibial. Con el propósito de identificar los problemas presentes en el tratamiento de fracturas de meseta tibial con respecto a la clasificación de la fractura se realizó una ecuación de búsqueda, partiendo primero en establecer unas palabras claves tales como: sistemas de clasificación, fracturas de meseta tibial, patrones de fractura, TAC o radiografía, compresión de la fractura, clasificación precisa y entre otras relacionadas, para luego con la ayuda de la base de datos de Web of Science generar las ecuaciones de la búsqueda, se pudo obtener un listado de artículos los cuales se revisaron y se seleccionaron nueve de ellos.

En la revisión se concluyó que cada problema presentaba una causa y generaba una consecuencia descrita en los artículos, por lo cual se optó por realizar una tabla que esta segmentada en problemas, causas y consecuencias, con el objetivo de poder obtener una visión completa del panorama.

Figura 11. Causa, problemas y consecuencias en el tratamiento de fracturas de meseta tibial.

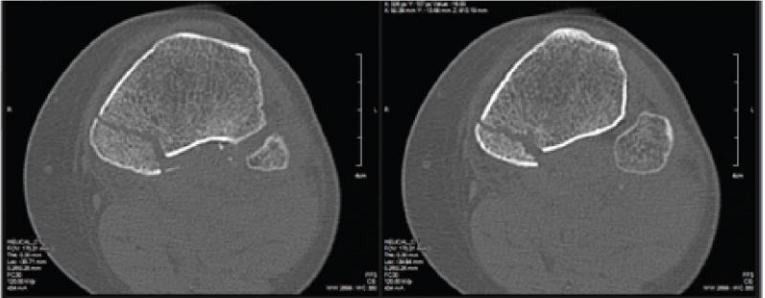
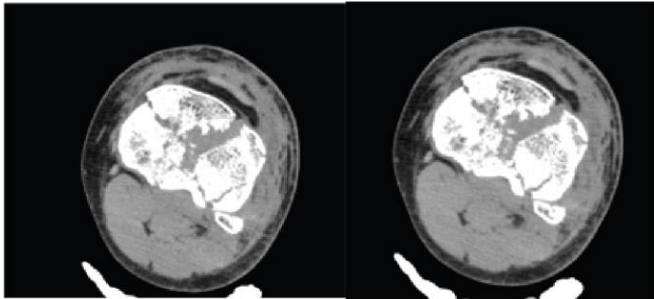
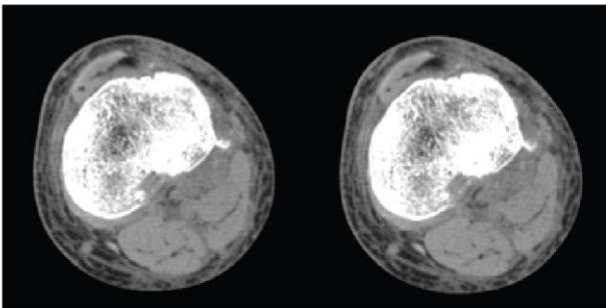


4.1.4 Clasificación de casos. Con el propósito de observar el proceso de clasificación de fracturas e identificar los aspectos relevantes en el proceso, se caracterizaron ocho casos de fractura de meseta tibial, con la ayuda de un residente de ortopedia con no menor de dos años de experiencia en el tratamiento de fracturas de meseta tibial, el sistema utilizado fue el de tres columnas, debido a que se está implementando actualmente en el HUS.

Posterior a realizar el examen diagnóstico se le entregó al ortopedista imágenes tomográficas contenidas en un CD-ROM en conjunto a un aplicativo de visor de imágenes DICOM, el cual permite visualizar los cortes de la zona escaneada (en este caso la zona de la rodilla). El ortopedista ingresa el CD al computador y da clic en el aplicativo, posterior se observa varias carpetas que contiene la información del paciente, una secuencia de imágenes DICOM en diferentes cortes (axial, coronal y sagital) y en algunos de los casos se proporcionó imágenes tridimensionales de la estructura ósea.

Para la caracterización de la fractura el ortopedista utilizó las imágenes de corte axial especialmente, los corte en los cual se observa la zona de la meseta en conjunto con la cabeza del peroné, posteriormente realizó una segmentación mental basado en la clasificación de tres columnas donde divide la meseta en tres zonas (posterior, lateral y medial), por último, se identificó las zonas donde se presentan conminución y se documentó la clasificación especificando el tipo de fractura presente. Para la clasificación se utilizó 8 casos de fractura de meseta tibial documentados en imágenes de la siguiente tabla:

Tabla 1. Clasificación de casos con sistema de clasificación de tres columnas.

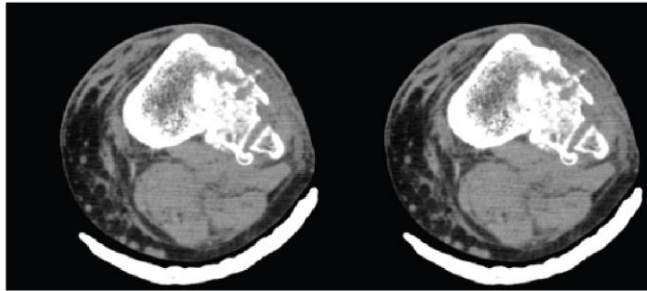
PACIENTE P1 CLASIFICACIÓN Fractura de platillos tibiales con compromiso en la columna posterior y medial.	CORTE TAC 
PACIENTE P2 CLASIFICACIÓN Fractura de platillos tibiales con compromiso en las columnas medial, lateral y posterior.	CORTE TAC 
PACIENTE P3 CLASIFICACIÓN Fractura de platillos tibiales con compromiso en la columna lateral.	CORTE TAC 

PACIENTE

P4

CLASIFICACIÓN

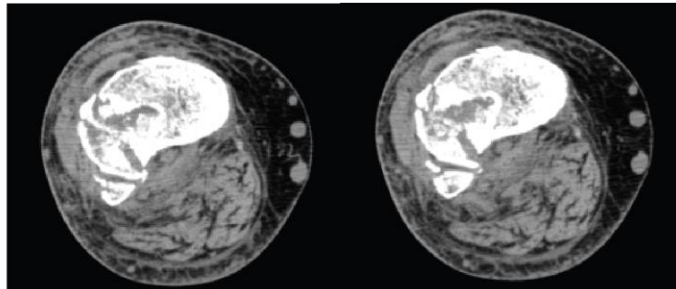
Fractura de platillos tibiales con compromiso en las columnas lateral y posterior.

CORTE TAC**PACIENTE**

P5

CLASIFICACIÓN

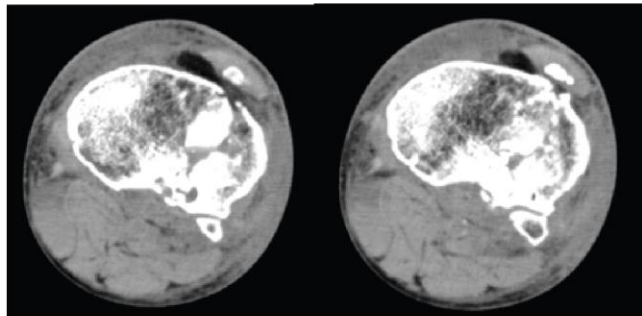
Fractura de platillos tibiales con compromiso en las columnas lateral y posterior.

CORTE TAC**PACIENTE**

P6

CLASIFICACIÓN

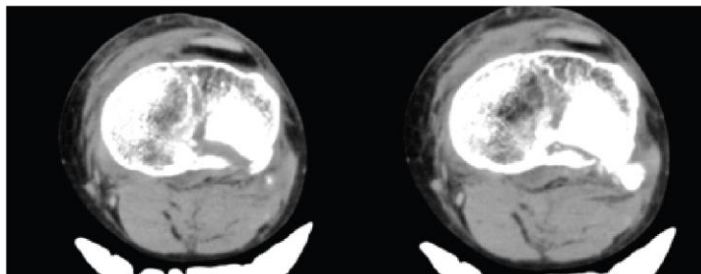
Fractura de platillos tibiales con compromiso en la columna lateral.

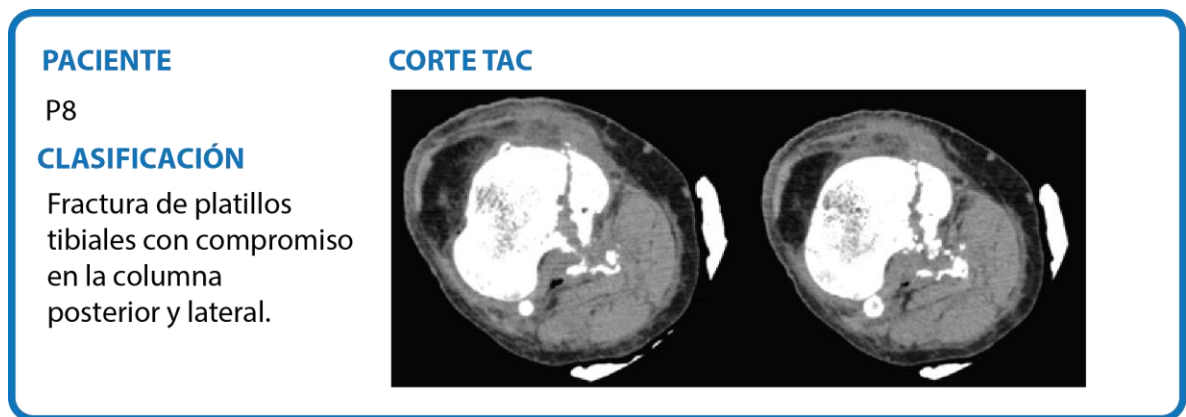
CORTE TAC**PACIENTE**

P7

CLASIFICACIÓN

Fractura de platillos tibiales con compromiso en la columna lateral.

CORTE TAC



4.1.5 Conclusiones. En esta etapa de indagación se evidenció la importancia de los exámenes diagnóstico como el TAC para identificar todas las líneas de fractura y la implementación de un sistema de clasificación como el de tres columnas, que permita caracterizar las líneas de fracturas presentes en el tratamiento de fracturas de meseta tibial para establecer un abordaje⁶³.

Durante el proceso de clasificación se observó que realizar una segmentación mental de las zonas de la meseta basado en el sistema de tres columnas generaba en algunas ocasiones confusión en el ortopedista, sobre en qué zona en específico se presentaba la fractura, debido a que los puntos anatómicos, no se puede encontrar con claridad en solo un corte, por lo que lleva al ortopedista a pasar una y otra vez las imágenes tomográficas. También se observó que el ortopedista, aunque tenía la opción de visualizar las imágenes tridimensionales se limitaba a solamente observar algunos cortes axiales, donde se presentaba la meseta junto a la cabeza del peroné.

En la fase de la planeación se recurre a la radiografía donde se identifican los trazos grandes, se calca en un papel el contorno del hueso y los diferentes fragmentos, con el TAC se definen los trazos y se identifican los trazos ocultos, luego con los

⁶³ KOKKALIS, ILIOPOULOS, PANTAZIS, et al. Óp. Cit. p. 1162-1169.

calcos se arma la zona fracturada ubicando los diferentes fragmentos. Para la ubicación de las placas se utilizan plantillas con el propósito de definir el tipo de placa y se determina la longitud de los tornillos y su dirección. En la etapa de planeación se implementa la tomografía, la radiografía y las plantillas.

4.2 DEFINIR

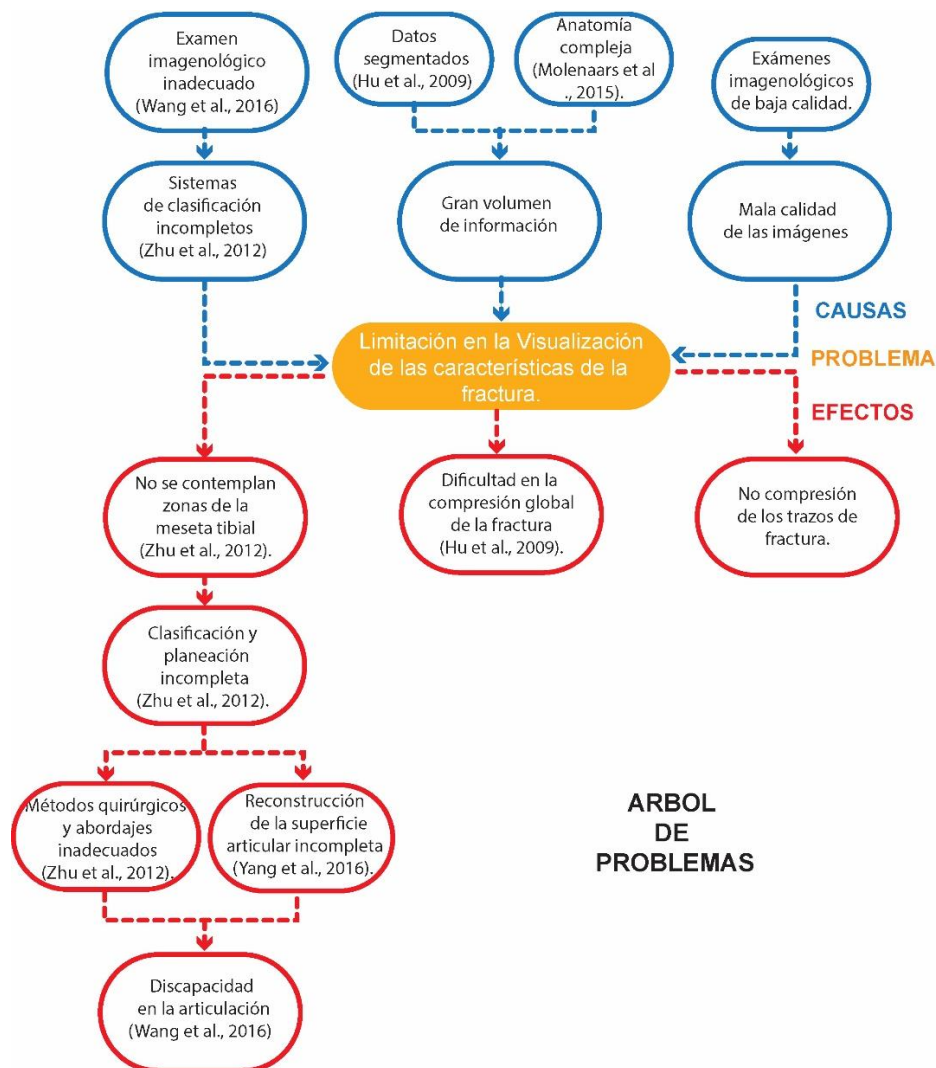
Seguido a la fase de indagación se busca darle un orden a la información obtenida, en esta fase de definición se busca establecer las necesidades y determinar los requerimientos para la generación de bimodelos enfocados a la clasificación de fracturas, por lo que es necesario cumplir con los siguientes propósitos

- Establecer necesidades presentes en el tratamiento de fracturas de meseta tibial.
- Determinar los requerimientos para la generación de las herramientas que ayuden en la caracterización de la fractura.

4.2.1 Árbol de problemas. Es una herramienta utilizada en la metodología de Design thinking para definir y visualizar de forma global el problema en específico que se busca solucionar analizando las causas y efectos⁶⁴.

⁶⁴ CASTILLO, Mauricio. ÁLVAREZ, Alejandro. CABANA, Ricardo. Design thinking: como guiar a estudiantes, emprendedores y empresarios en su aplicación. En: Ingeniería Industrial. Septiembre, 2014. vol. 35, no. 3, p 301-311.

Figura 12. Árbol de problemas.



Este árbol de problemas nos permitió identificar la importancia de verificar la calidad de los exámenes diagnósticos en el tratamiento de fracturas de meseta tibial, debido a que no solo afecta la clasificación, sino que incide directamente en todo el tratamiento. Asimismo, se debe considerar la utilización de un sistema de clasificación que comprenda todos los tipos de fractura que se puedan presentar.

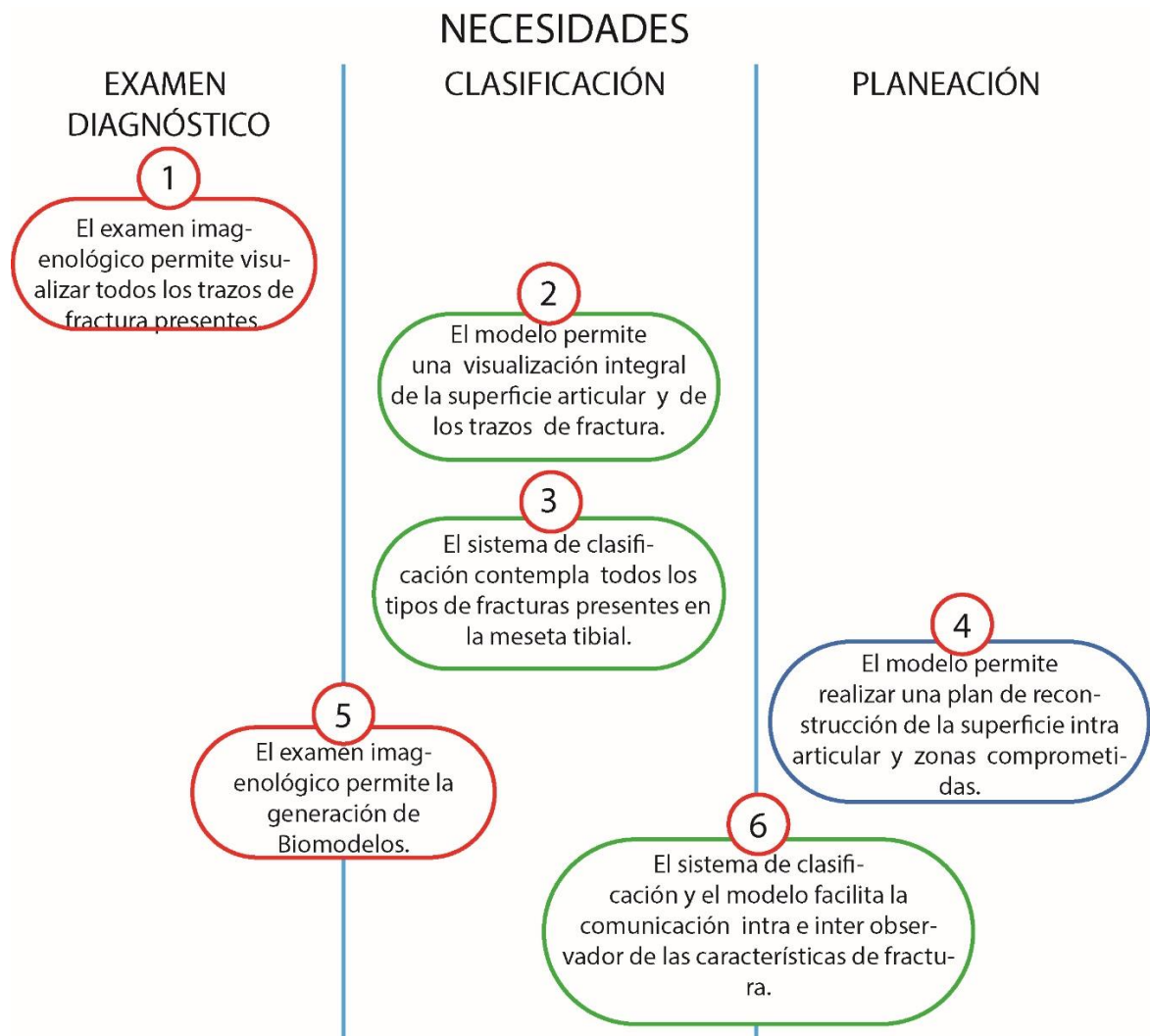
En otro aspecto, aunque el TAC presente la información necesaria para poder identificar todos los trazos de fractura, a veces llega a ser demasiado complejo visualizar corte por corte y hacerse una idea mental tridimensional de cómo se presenta la fractura. Por lo que es necesario generar herramientas que les permitan a los ortopedistas facilitar la comprensión global de la lesión.

4.2.2 Identificación de necesidades para la caracterización y planeación en fracturas de meseta tibial. Las necesidades son factores indispensables o aspectos que permita indicar que se deben tomar en cuenta, para ello se optó por integrar a este proyecto, la fase de identificación de necesidades, que hace parte de la metodología de diseño y desarrollo de producto descrito por Karl Ulrich y Steven Eppinger. En esta fase se recopilamos las opiniones de ortopedistas y residentes, como también de las conclusiones de artículos basados en la en la clasificación y tratamiento de facturas de meseta tibial, para luego interpretar la información en necesidades y categorizarla dependiendo de importancia⁶⁵.

Debido a que se busca plantear un modelo de visualización que contemple diferentes aspectos para poder brindarle a los ortopedistas y residentes herramientas para optimizar el tratamiento de fracturas de meseta tibial. Se buscó relacionar la necesidad con las etapas de toma de exámenes, clasificación y planeación enumerándolas según el nivel de importancia como se observa en la figura 13.

⁶⁵ ULRICH, Karl. EPPINGER, Steven. Diseño y desarrollo de productos. Quinta edición. Ciudad de México: Mc Graw Hill, 2013. p 73-116.

Figura 13. Categorización de necesidades en relación a las etapas de clasificación y planeación para el tratamiento de fracturas de meseta tibial.



4.2.3 Especificación. Al establecer las necesidades y al haber indagado sobre los aportes que tiene la integración de métodos como lo es la ingeniería inversa y la impresión 3D en el tratamiento de fracturas se establecen las especificaciones.

Con el propósito de dar respuesta a una necesidad del cliente en este caso del ortopedista. Para ello se continuó implementando la metodología de diseño y desarrollo de producto por Karl Ulrich y Steven Eppinger en las especificaciones⁶⁶.

Cada especificación se orientó a dar respuesta a una o más necesidades que se tiene que considerar para el tratamiento en fracturas de meseta tibial, entre los requerimientos se consideran la incorporación de nuevas tecnologías y metodologías como la ingeniería inversa y la impresión 3D, debido a que en diversos artículos se implementan para brindar una retroalimentación espacial de la zona tratada aportando para la clasificación y la planeación quirúrgica^{67 68 69 70}.

Para poder establecer las especificaciones previamente se establece una matriz donde se busca dar relación a la necesidad con la métrica, tecnología o práctica, con el propósito de establecer pautas para la integración de herramientas que permita la identificación de las líneas de fractura (Tabla). Las métricas están basado en el método de gestión de calidad el cual busca traducir las necesidades en características y especificaciones para un producto o servicio⁷¹.

⁶⁶ ULRICH, EPPINGER, Óp. cit.

⁶⁷ YANG, DU, ZHOU, et al. Op. Cit.

⁶⁸ GIANNETTI, Silvio. BIZZOTTO, Nicola. STANCATI, Andrea. Minimally invasive fixation in tibial plateau fractures using an pre-operative and intra-operative real size 3D printing. En: Injury. Marzo, 2017. vol 48, no. 3, p 784-788.

⁶⁹ HIEU, ZLATON, et al. Óp. Cit.

⁷⁰ MATÍAS, ZENHA, COSTA, et al. Óp. Cit.

⁷¹ ULRICH. Op. Cit., p. 73-116.

Tabla 2. Matriz necesidades- métricas, tecnologías y prácticas.

Necesidades	MÉTRICA	Esesor de la capa en el examen diagnóstico	Escala de Hounsfield	Escala del modelo impreso	Esesor de la capa en la impresión 3D	Tiempo de reconstrucción del las imágenes diagnósticas	Tiempo de preparación del modelo para la impresión	Tiempo de impresión del modelo 3D	TECNOLOGÍAS	Examen diagnóstico	Software de reconstrucción de imágenes médicas	Software de preparación del modelo para la impresión	Técnica de impresión 3D	PRÁCTICAS	Sistema de clasificación para fracturas de meseta tibial	Método de integración de nuevas tecnologías	Tipo de formato del archivo de imágenes diagnósticas y del biomodelo
1 El examen imagenológico permite visualizar todos los trazos de fracturas presentes.																	
2 El modelo permite la visualización integral de la superficie articular y de los trazos de fractura.																	
3 El sistema de clasificación contemple todos los tipos de fracturas presentes en la meseta tibial.																	
4 El modelo permite realizar un plan de reconstrucción de la superficie articular y las zonas comprometidas.																	
5 El examen imagenológico permite la generación de biomodelos.																	
6 El sistema de clasificación y el modelo facilite la comunicación intra e inter observador de las características de fractura.																	

En la matriz se evidencia que una necesidad se relaciona en algunos casos con diferentes métricas, tecnologías o prácticas, como es el caso en la necesidad de que el modelo permita la visualización integral de la superficie articular y los trazos de fractura, el cual tiene relación al tipo examen diagnóstico, el espesor de la imagen y el espesor de la capa de impresión.

Debido a que muchas de las necesidades no se relacionan con una métrica se estableció relacionar la necesidad con tecnologías o prácticas, como es el caso de la necesidad del sistema de clasificación y el modelo facilite la comunicación intra e inter observador de las características de fractura, se relaciona a los sistemas de

clasificación implementados para describir la fractura en características o en zonas que son referentes para establecer un tratamiento.

Posterior a relacionar las necesidades con métricas, tecnologías y prácticas se prosiguió a una revisión de literatura a partir de una ecuación de búsqueda donde se recurrió a la base de datos Web of Science para la búsqueda de artículos relacionados con la clasificación de fracturas implementando biomodelos o herramientas para optimizar la identificación de líneas de fractura partiendo de establecer palabras como: fracturas de meseta tibial, patrones de fractura, impresión 3D, tecnología y tomografía computarizada.

Se concluyó en la revisión de artículos que en la etapa de clasificación no se tiene conocimiento de la implementación de biomodelos impresos para la identificación y compresión de la fractura; sin embargo, en la etapa de planeación si se presentaron estudios con resultados favorables en el tratamiento⁷². También la revisión se enfocó a la búsqueda de artículos relacionados con la implementación de biomodelos virtuales para clasificar y planificar fracturas que no es propiamente la zona de la meseta sino a en otras zonas del cuerpo que apliquen metodologías o técnicas como la impresión 3D e ingeniería inversa.

Algunas métricas no presentaron respuesta en artículos como es el caso del espesor de la capa en la impresión 3D. Sin embargo, se considera oportuno establecer debido a que se busca que en el modelo impreso se pueda visualizar con claridad los trazos de fractura. De la revisión se obtuvieron cinco artículos que permiten establecer pautas para dar respuesta a las métricas, técnicas o tecnologías como se presenta en la tabla 3.

⁷² YANG, DU, ZHOU, et al. Op. Cit.

Tabla 3. Comparación de artículos en relación a métricas, tecnologías y prácticas.

Nú m.	Artículo				
	(Yang et al., 2016)	(Giannetti et al., 2017)	(Suero et al., 2010)	(Thomas et al., 2011)	(Matias & Zenha, 2017)
MÉTRICA					
2	Espesor de la capa en el examen diagnóstico	1mm	1mm	0,3 mm -1mm Resolución 0.25 mm - 0.6 mm	1mm
4	Escala del modelo impreso	1 =1	1 =1		
5	Escala de Hounsfield				
8	Espesor de la capa en la impresión 3D				
12	Tiempo de reconstrucción del las imágenes diagnósticas	10 h	2 h 54 m , fracturas complejas 4h (contemplado la armada de la fractura)		
13	Tiempo de preparación del modelo para la impresión				
14	Tiempo de impresión del modelo 3D				
	Costo del modelo \$29 963,44	Costo del modelo \$ 415 416,52			
TECNOLOGÍAS					
1	Examen diagnóstico	TAC	TAC	TAC	TAC
6	Software de reconstrucción de imágenes medicas	Mimics Innovation Suit 16.0	Osirix Dicom Viewer	VoXim	Algoritmo de segmentación de imágenes, MATLAB, Otros protegidos Anatomics Pro
9	Software de preparación del modelo para la impresión				
10	Técnica de impresión 3D	3D FDM/ Modelado por deposición fundida/ Material termoplastico/ Blanco	ProJet 660 Color 3D/ Impresión por inyección (tinta)/ Color		Esterolitografía / Resina líquida / Transparente
PRACTICAS					
2	Sistema de clasificación para fracturas de meseta tibial		Schaktzer	AO	
7	Método de integración de nuevas tecnologías	impresión 3D	Impresión 3D	Segmentación de la fractura por colores	Algoritmos de segmentación / Solución de rompecabezas 3D (3D puzzle)/ Utilización del hueso contra lateral como plantilla Ingeniería inversa Prototipado rápido Realidad virtual Trabajo cooperativo
11	Tipo de formato de archivo de imágenes diagnósticas y del biomodelo	DICOM STL	DICOM STL	DICOM	DICOM STL

En la tabla 4 se presenta las especificaciones parciales de las métricas y tecnologías, debido a que se plantea proponer diferentes opciones, para obtener el mejor resultado y dar respuesta a las necesidades establecidas.

Tabla 4. Especificaciones parciales.

MÉTRICA	Unidad	Criterio
Espesor de la capa en el examen diagnostico	mm	1 mm
Escala del modelo impreso	mm	1:1
Escala de Hounsfield	-	Por definir
Espesor de la capa en la impresión 3D	mm	Por definir
Tiempo de reconstrucción de las imágenes diagnósticas	h	Por definir
TECNOLOGÍAS	Unidad	Criterio
Examen diagnóstico	-	TAC
Software de reconstrucción de imágenes medicas	-	Por definir
Software de preparación del modelo para la impresión	-	Por definir
Técnica de impresión 3D	-	Por definir
PRÁCTICAS	Unidad	Criterio
Sistema de clasificación para fracturas de meseta tibial	-	Tres columnas Cuatro cuadrantes
Método de integración de nuevas tecnologías	-	Ingeniería Inversa Impresión 3D
Tipo de formato de archivo de imágenes diagnósticas y del biomodelo	-	DICOM STL

4.3 IDEAR

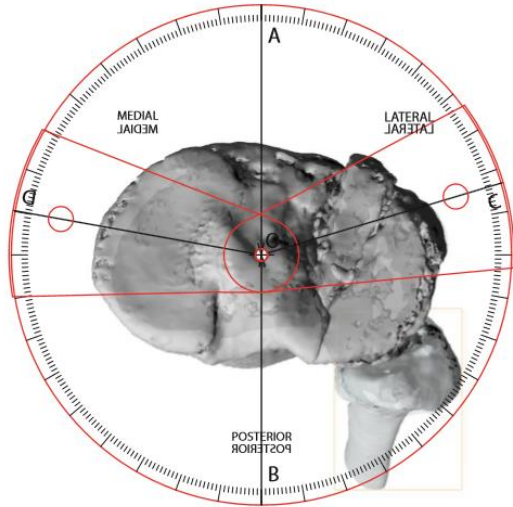
Esta fase tiene el propósito de incorporar herramientas, metodologías y técnicas para ser implementarlas en el tratamiento de fracturas de meseta tibial que permita optimizar la caracterización de fracturas, por lo que se estableció el cumplimiento de las siguientes pautas:

- Proponer alternativas para optimizar la caracterización de fracturas de meseta tibial.
- Integrar prácticas basadas en la ingeniería inversa y el prototipado rápido en el tratamiento de fracturas de meseta tibial.
- Definir procedimientos que permitan introducir nuevas herramientas al tratamiento de fractura de meseta tibial.

Con el propósito de proponer herramientas que le permitan al ortopedista o al residente tener una comprensión global e identificar: los puntos anatómicos, líneas de fractura y la comprensión global de la lesión en la clasificación se plantean las siguientes alternativas.

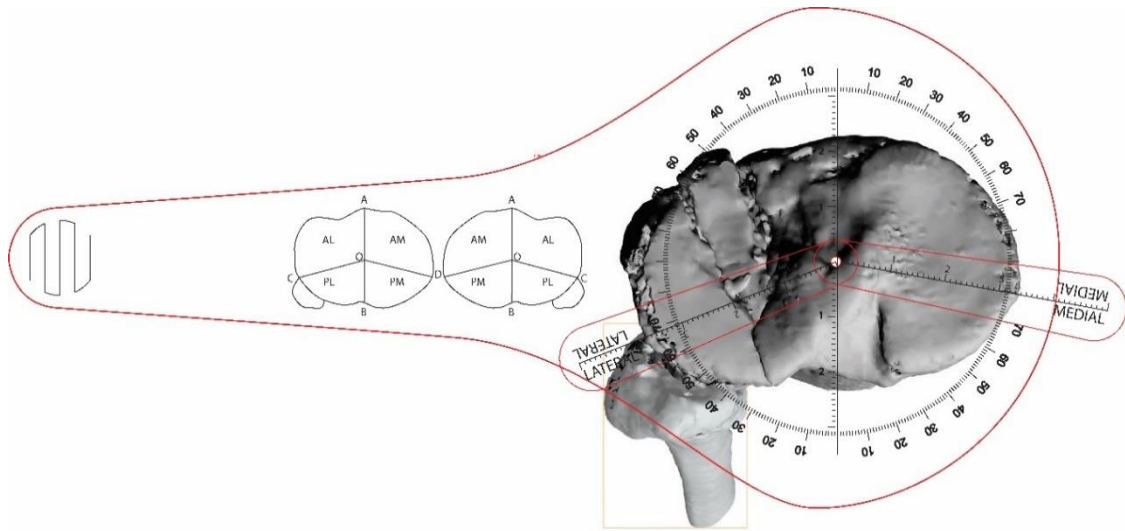
4.3.1 Alternativa 1: Instrumento de segmentación basada en el sistema de clasificación de cuatro cuadrantes. Con el propósito de disminuir la duda en la etapa de clasificación y que el ortopedista pueda definir con claridad la segmentación de las zonas de la meseta basado en el sistema de clasificación de tres columnas se buscó integrar un instrumento, donde el ortopedista pueda ubicar los puntos anatómicos para dividir la meseta tibial en tres zonas principales llamadas columnas posterior, medial y lateral.

Figura 14. Esquema del instrumento de segmentación de las zonas de la meseta tibial basado en la clasificación de cuatro cuadrantes.



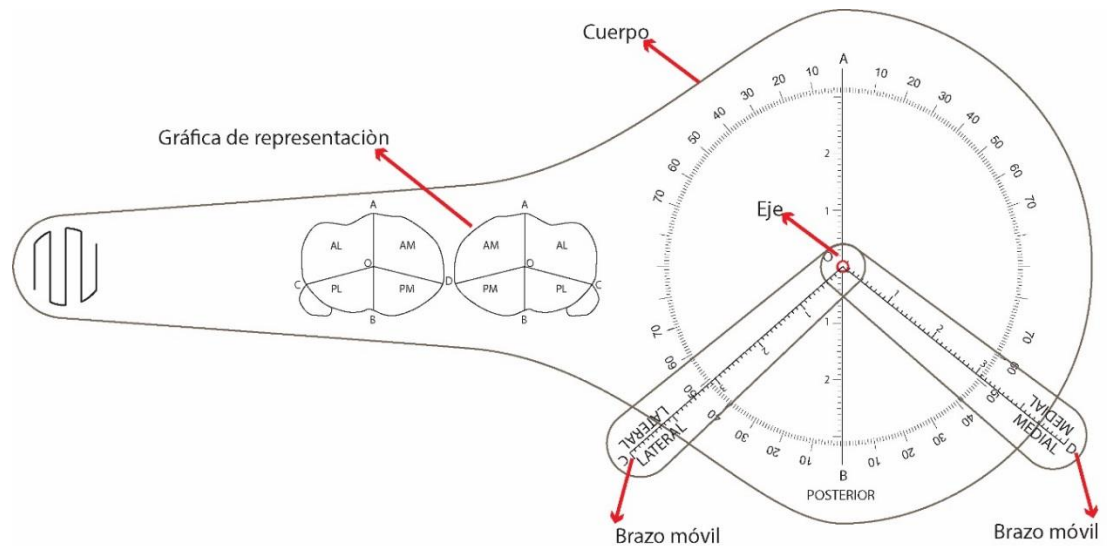
El instrumento fue presentado a un ortopedista y se le pidió que clasificara el caso visualizando las imágenes tomográficas, y luego clasificara el caso en un biomodelo impreso en conjunto con el instrumento. La caracterización permitió establecer que el instrumento permitía segmentar las zonas de la meseta, pero se sugirió realizarle cambios presentados en la figura 15.

Figura 15. Modificación del instrumento de segmentación para fracturas de meseta tibial.



Se le integro una zona de agarre en conjunto a una gráfica que representa el sistema de clasificación de cuatro cuadrantes, tanto para la rodilla derecha como izquierda con las líneas y puntos de segmentación y la abreviatura de los nombres de cada cuadrante. En los brazos móviles se integró unidades de medida en centímetros y en el cuerpo del instrumento de segmentación se le integraron la unidad de medida en grados y centímetros como se observa en la figura 16.

Figura 16. Partes del instrumento de segmentación basado en el sistema de clasificación de cuatro cuadrantes.



EJE: punto O el cual se ubica en el centro de la meseta.

CUERPO: Representa las línea AOB, la cual divide la meseta en dos e indica la ubicación de las zona posterior.

GRÁFICA DE REPRESENTACIÓN DEL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN: Representa la segmentación de las columnas basada en el sistema de cuatro cuadrantes, para la tibia derecha como izquierda.

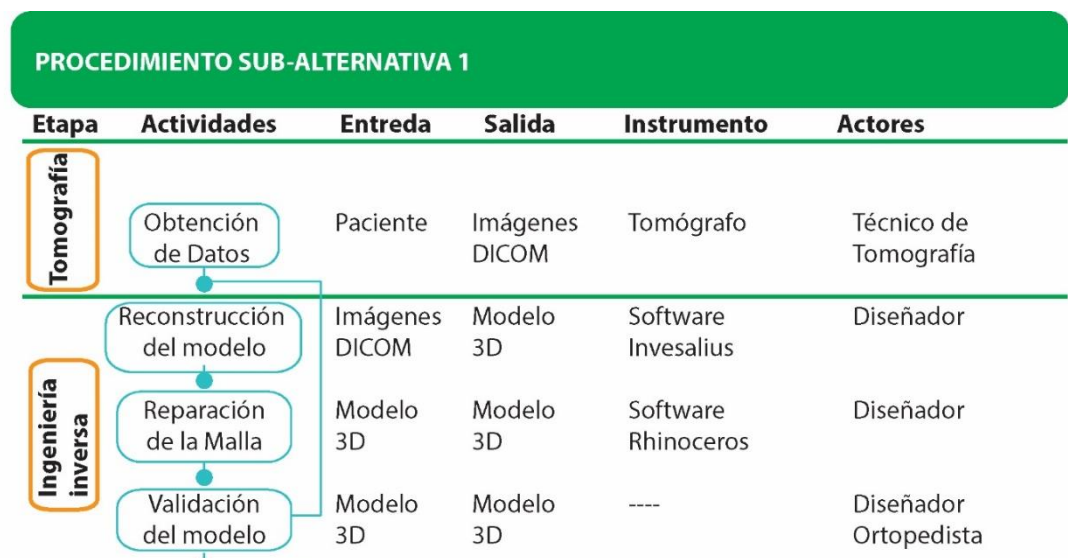
BRAZOS MÓVILES: Representa las líneas OC y OD, delimitan la meseta en anterior y posterior.

4.3.2 Alternativa 2: Biomodelos virtuales para la caracterización de fracturas de meseta tibial. Esta alternativa contempla dos sub-alternativas en las cuales varían en el software implementado para la reconstrucción de la fractura: La primera sub-alternativa contempla la toma de datos de la tomografía donde se define el espesor de la imagen fuera de 1 mm, seguidamente del examen diagnóstico el ortopedista entrega los datos al diseñador para iniciar la etapa de ingeniería inversa, donde los datos son ingresados a un software biomédico llamado Invesalius®, el cual reconstruye las imágenes tomografías en una malla poligonal, se definió un umbral para la escala de Hounsfield desde 148 hasta 1809 determinado por el software como hueso esponjoso y compacto.

Luego se exporta a un formato STL debido a que la malla poligonal del modelo presenta errores que podría generar fallas en la etapa de impresión y se pasa a un software de modelado tridimensional, en este caso se utilizó el software Rhinoceros®.

En el software BIO-CAD Rhinoceros® se elimina el ruido interno y externo, dependiendo si la meseta está unida a otros huesos como el peroné o el fémur, el software permite hasta cierto punto separar ciertas zonas del hueso. Por último, se corrige la malla con el fin de que el modelo no presente errores en el momento de impresión, este proceso se resume en la figura .17.

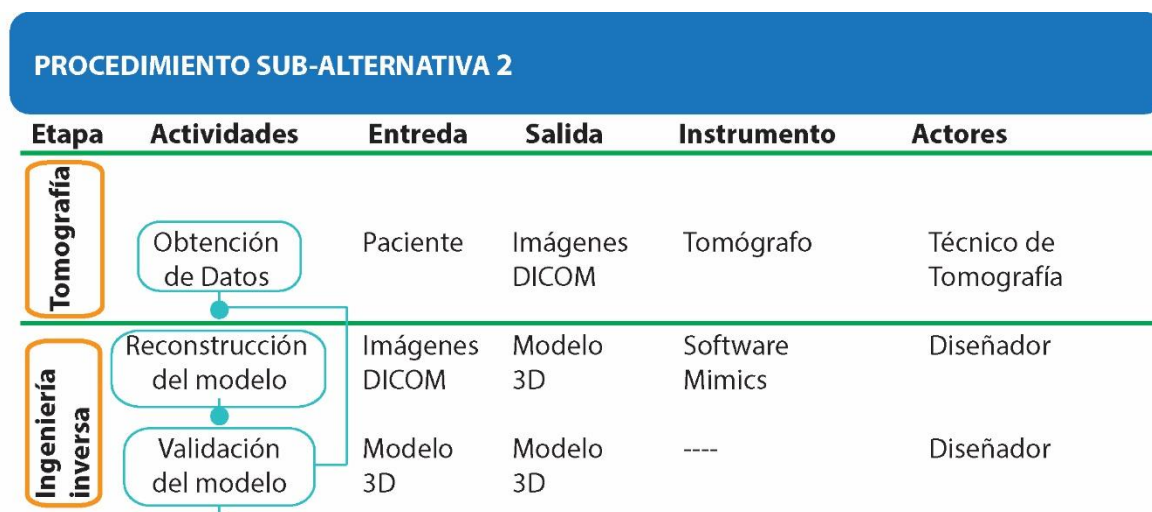
Figura 17. Procedimiento etapas y actividades de Sub-alternativa 1.



En la Sub-alternativa 2 se contempla las dos etapas, comenzando por la toma de datos conocida como tomografía donde el paciente se le realiza el examen diagnóstico, donde se considera principalmente la calidad de los datos como: el espesor de las imágenes no sea mayor a 1mm. Posteriormente, se continúa con la etapa de ingeniería inversa donde los datos son procesados por un software

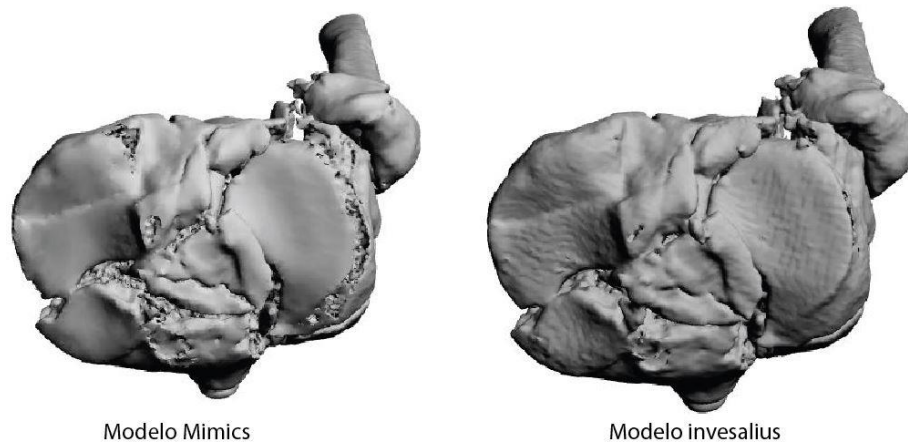
biomédico llamado Mimics®, el cual procesa la información para la generación de modelos anatómicos virtual, en este software el rango de la escala de Hounsfield se tomó desde los 148 hasta los 1807 que abarca tanto hueso esponjoso como compacto. Luego el programa permite separar los huesos, donde se seleccionan la tibia y el peroné para exportarse en formato STL, por último, se importa el biomodelo a Rhinoceros® donde se elimina las partes sueltas y se corrige la malla. Este proceso se resume en la figura 18.

Figura 18. Procedimiento de etapas y actividades Sub-alternativa 2.



Para evaluar si los dos biomodelos virtuales presentaban diferencia y poder así seleccionar cual permite mayor detalle en su visualización se presentaron 5 casos reconstruidos por separado en los softwares Invesalius® y Mimics® en PDF 3D a un residente con dos años de experiencia en clasificación de los casos de fractura de meseta tibial. El cual visualizó los dos biomodelos virtuales de la misma fractura instantáneamente, acompañado de una ficha en la cual según su punto de vista seleccionó el biomodelo que le permitía visualizar con mayor claridad las líneas de fractura como se observa en la figura 19.

Figura 19. Visualización de biomodelos virtuales en vista superior realizados en dos softwares BIOCAD diferentes.



Resultado de la comparación de los casos se concluyó que los modelos obtenidos de software de reconstrucción MIMICS® permitían al ortopedista visualizar con mayor claridad las líneas de fractura, aparte se resaltó la importancia de integrar al biomodelo virtual de la tibia el peroné, debido a que permite al ortopedista tener una ubicación espacial y determinar cuál de las tibias se está observando si la derecha o la izquierda.

Se concluyó que la implementación del software Mimics® aunque genere una reconstrucción en el doble de tiempo que Invesalius®, permite separar los diferentes huesos presentes en menor tiempo. En cambio, en el software Invesalius®, es necesario exportar el modelo a Rhinoceros® para realizar la separación de los huesos y se genera una malla con muchas superficies internas entrelazadas, lo cual hace que la separación de los huesos en algunos casos no sea posible de realizar y la malla presente muchos errores de construcción. En los dos softwares se tomó el tiempo de reconstrucción y la separación las partes lo cual se resumió en la siguiente tabla.

Tabla 5. Comparación de tiempos en software BIOCAD.

CASO	TIEMPO DE RECONSTRUCCIÓN		TIEMPO EN LA SEPARACIÓN DE HUESOS	
	MIMICS	INVESALIUS	MIMICS	INVESALIUS
P1	4 min	2 min	17 min	15 min Tibia y fémur NO se puede separar la tibia del peroné.
P2	4 min	4 min	12 min	50 min
P3	3 min	2 min	12 min	NO se puede separar la tibia del peroné
P4	4 min	2 min	22 min	NO se puede separar la tibia del peroné.
P5	5 min	2 min	13 min	NO se puede separar la tibia del peroné.

4.3.3 Alternativa 3: Biomodelos impreso para la caracterización de fracturas de meseta tibial. Cuando el biomodelo virtual ha sido reconstruido y corregido la malla se prosigue a exportarse a un formato STL que a la vez se importa a un software conocido como Ultimaker CURA 15.04.6. Este software cumple la función de preparar el modelo virtual para ser impreso en 3D, dividiendo el biomodelo en capas delgadas y configurándolo para la impresión, por último, se imprime el modelo en la impresora 3D VOXEL+ BGC Smart Tech.

Para evaluar la calidad del modelo se imprime el modelo en un material denominado PLA (ácido poliláctico o poliácido láctico) de color gris con una altura de capa de 0.2 mm, el proceso de impresión duro más de 7 horas. Luego se le presento el biomodelo impreso a un residente con experiencia en tratamiento de fracturas de meseta tibial, con el objetivo de evaluar la calidad de la visualización y a la vez clasificar la fractura presente. El biomodelo fue impreso con las siguientes características presentados en la tabla 6.

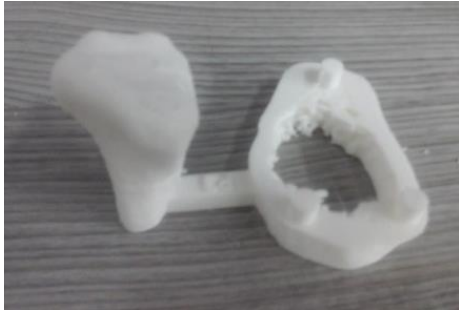
Tabla 6. Características de impresión en modelos de fractura de meseta tibial.

Modelo impreso	Características de impresión
	Espesor del borde: 0.8 mm Altura de capa: 0.2mm Densidad del relleno: 30% Tipo de soporte: Everywhere Color: PLA gris oscuro Tiempo de impresión: 7 h 24min Numero de partes: 1

Se concluyó que la calidad del biomodelo físico no permitía; primero identificar a que meseta correspondía debido a que no presentaba el peroné, el cual le permite al ortopedista saber cuál rodilla está tratando. Segundo en la superficie de la meseta no se identificaba con claridad los trazos de fractura debido a que la altura de la capa no es suficientemente pequeña para darle una continuidad al modelo. Por último, se sugirió que el color del biomodelo tiende a ser muy oscuro y debería ser de un color como blanco o piel para que se asemeje al color natural del hueso.

Al validar el biomodelo y concluir que es necesario disminuir la altura de la capa de 0.2mm a 0.1mm para brindarle mayor detalle a la superficie de la meseta y así poder visualizar las líneas de fractura, se imprime un nuevo caso para evaluar con el ortopedista. El modelo comprende la meseta tibial y parte del peroné los cuales se ensamblan, con el propósito de que el peroné se imprima en menor tiempo y con menos detalle que la tibia, también se consideró el color del material pasara a un PLA blanco y algunas características de impresión, como se presenta en la tabla 7.

Tabla 7. Características de la impresión del biomodelo de meseta tibial.

Modelo impreso	Características de impresión
	Grosor del borde: 0.8 mm Altura de capa: 0.1mm Densidad del relleno: 30% Tipo de soporte: Everywhere Color: PLA blanco Tiempo de impresión: 20 h 53 min Numero de partes: 1 Caso: 3
	Grosor del borde: 0.8 mm Altura de capa: 0.2mm Densidad del relleno: 30% Tipo de soporte: Everywhere Color: PLA blanco Tiempo de impresión: 2h 27 min Numero de partes: 1 Caso: 3

Se le presentó el modelo al ortopedista para clasificar y evaluar si se puede identificar las líneas de fractura, se concluyó que al disminuir la altura de la capa a 0.1mm el ortopedista puede identificar con claridad la fractura presente, a la vez también se concluyó que al integrar el peroné al biomodelo, el ortopedista podía identificar a que meseta corresponde dándole una ubicación espacial de donde y como se presenta la fractura.

4.4 EVALUAR

En esta fase se busca estimar la relevancia de integrar modelos impresos de fractura de meseta tibial para la etapa de caracterización de la lesión en casos presentados en el HUS para lo cual se estableció los siguientes objetivos:

- Clasificar seis casos de fracturas de meseta tibial integrando biomodelos impresos, biomodelos virtuales y la herramienta de segmentación.
- Evaluar la concordancia intra e inter observador en la clasificación de casos de fractura de meseta tibial al integrar las alternativas planteadas.

4.4.1 Clasificación de fracturas de meseta tibial a partir de la integración de nuevas tecnologías. Para evaluar los biomodelos se planteó realizar una prueba para establecer la concordancia intra e inter observador, por lo que se partió de una revisión de literatura con el propósito de identificar pautas para su realización, la revisión se inició con establecer palabras claves en las que se comprenden: fractura de meseta tibial, clasificación, inter e intra observador, sistemas de clasificación y tomografía computarizada. Posteriormente con ayuda de una base de datos de artículos científicos llamada Web of Science se ingresan las palabras claves justo a operadores para generar las ecuaciones y poder obtener un listado de artículos los cuales se revisaron y se seleccionaron 5.

Resultado de la revisión de los artículos se pudo determinar algunas pautas para la realización de la prueba y establecer lo siguiente. Entre los años 2016 y 2017 se recolectaron 22 casos de fractura de meseta tibial los cuales 6 de ellos se escogieron de forma aleatoria para la realización de la prueba, se reconstruyeron con el fin de obtener los biomodelos físicos y virtuales.

Resultado de la revisión de los artículos se pudo determinar algunos criterios de inclusión y exclusión para la realización de la prueba: los criterios de inclusión fueron pacientes tanto hombres como mujeres mayores de 18 años que sufrieron fractura de meseta tibial, los cuales se caracterizaron por 5 evaluadores: dos ortopedistas con experiencia en tratamiento de fracturas de meseta tibial, y tres residentes, uno con menos de dos años de experiencia en tratar fracturas de meseta tibia (R2) y los otros dos con más de tres años de experiencia (R4).

La prueba se realizó en diferentes sesiones donde en cada sesión se clasificaban los seis casos de forma aleatoria, donde dos se presentaban como imágenes tomograficas visualizadas en un aplicativo DICOM, los dos siguientes como biomodelos virtuales presentados en un visualizador de PDF 3D y los dos últimos restantes como biomodelos impresos. En el transcurso de las seis sesiones se clasifica cada casa dos veces por cada formato de visualización con el propósito de establecer la concordancia tanto intra como inter observador.

Figura 20. Esquema de la prueba.

Sesión 1 y 4	Sesión 2 y 5	Sesión 3 y 6
Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6

Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4		Grupo 5		Grupo 6	
TAC	P3	TAC	P5	TAC	P7	TAC	P8	TAC	P1	TAC	P2
MV	P2	MV	P3	MV	P5	MV	P7	MV	P8	MV	P1
MI	P1	MI	P2	MI	P3	MI	P5	MI	P7	MI	P8

Casos:

P1. P2, P3, P5, P7, P8.

Formatos de visualización:

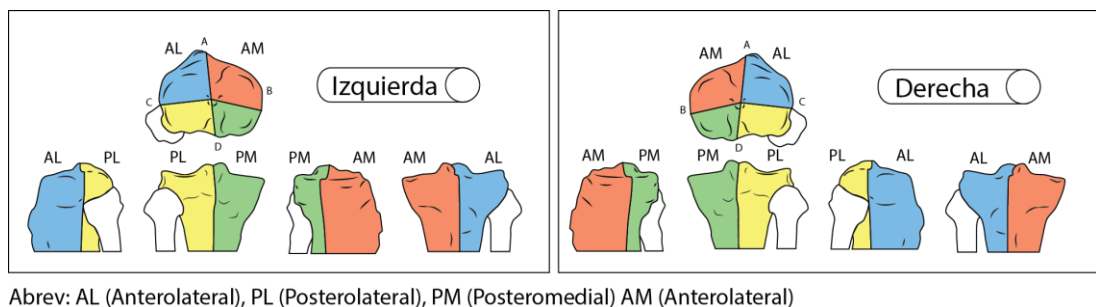
TAC (tomografía)

MV (Biomodelo Virtual)

MI (Biomodelo Impreso)

Con cada clasificación se le presenta una ficha (**ver Anexo A**) para que el ortopedista o residente clasifique la lesión, también se presentó a los evaluadores una gráfica basada en el sistema de clasificación de cuatro cuadrantes del artículo “Morphological Characteristics of Posterolateral Articular Fragments in Tibial Plateau Fractures” la cual el ortopedista tenía que marcar con una X la zona de la meseta fracturada (Figura 21).

Figura 21. Representación de segmentación de la meseta basado en el sistema de cuatro cuadrantes.



Durante la clasificación de los casos en el TAC se les dio la libertad a los ortopedistas de visualizar las imágenes tridimensionales, siempre y cuando ellos lo consideraran necesario. La prueba tuvo una duración de tres meses debido a la disponibilidad de los evaluadores, cada sección tuvo una duración de 15 a 20 minutos.

Además se le solicitó a los evaluadores proponer un tipo de abordaje, presentándole diversas opciones basado en el artículo “Computed tomography-based Three-Column Classification in tibial plateau fractures: Introduction of its utility and assessment of its reproducibility”, el cual propone determinados abordajes dependiendo del tipo de fractura presente como se presenta en la siguiente tabla⁷³.

⁷³ ZHU, YANG, et al. Op. Cit.

Tabla 8. Tipos de abordajes basados en los tipos de fracturas presentes según el sistema de tres columnas.

TIPO DE FRACTURA	ABORDAJE
CERO COLUMNAS	
Fractura columna cero	Abordaje mínimamente invasiva.
UNA COLUMNA	
Fractura de columna lateral	Abordaje lateral convencional.
Fractura de columna medial	Abordaje de línea media.
Fractura de columna posterior	Abordaje posteromedial (para la parte medial de la columna posterior) + incisión en forma de L invertida (para la parte lateral de la columna posterior).
DOS COLUMNAS	
Fractura de columna medial y lateral	Abordaje anterolateral y posteromedial.
Fractura de columna medial y posterior (para la parte lateral de la columna posterior)	Abordaje posterior en forma de L invertida .
Fractura de columna medial y posterior (para la parte medial de la columna posterior)	Abordaje posteromedial.
Fractura de columna lateral y posterior (para la parte lateral de la columna posterior)	Abordaje posterior en forma de L invertida + abordaje anterolateral.
Fractura de columna lateral y posterior (para la parte medial de la columna posterior)	Abordaje anterolateral y posteromedial.
TRES COLUMNAS	
Fractura de columna medial, lateral y posterior	Abordaje combinada: incisión en forma de L invertida + incisión antero lateral.

Fuente: Computed tomography-based Three-Column Classification in tibial plateau fractures: Introduction of its utility and assessment of its reproducibility.

Posterior de la prueba se organizó la información en Excel, para luego ingresarlo a un software llamado R con el propósito de obtener el coeficiente kappa (k), el cual busca establecer en qué medida los observadores coinciden en su respuesta. Donde el coeficiente indica el nivel de concordancia percibida sobre la totalidad de las clasificaciones, donde un $k=1$ representa una concordancia perfecta y un $k=0$

establece una Concordancia pobre (ver figura 22). En este caso se implementó el kappa de Fleiss⁷⁴.

Figura 22. Valoración del coeficiente Kappa.

Coeficiente kappa	Fuerza de la concordancia
0,00	Pobre (<i>Poor</i>)
0,01 - 0,20	Leve (<i>Slight</i>)
0,21 - 0,40	Aceptable (<i>Fair</i>)
0,41 - 0,60	Moderada (<i>Moderate</i>)
0,61 - 0,80	Considerable (<i>Substantial</i>)
0,81 - 1,00	Casi perfecta (<i>Almost perfect</i>)

Fuente: Cerdal & Villarroel., 2008

En esta prueba se partió determinando el kappa de fleiss para cada formato de visualización (tomografías axiales computarizas visualizadas en un aplicativo DICOM, el biomodelo virtual presentado en un visualizador de PDF 3D y el biomodelo impreso) entre los cinco observadores (ver Anexo B). Se estableció que al clasificar las fracturas con el biomodelo impreso se obtuvo un kappa mayor que con el TAC y el biomodelo virtual, aunque en los tres casos se presentó una concordancia aceptable como se observa en la siguiente figura.

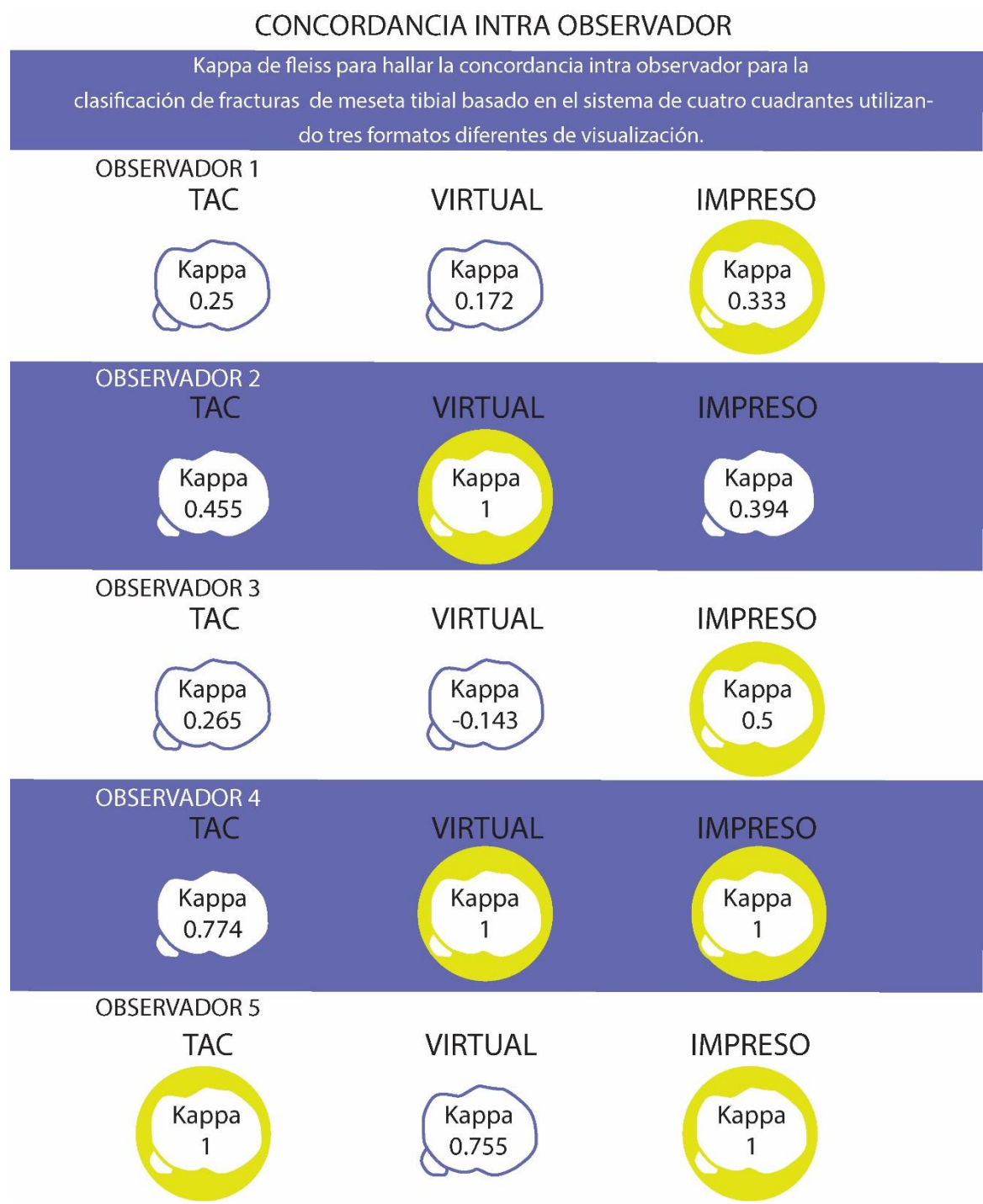
⁷⁴ ARGAS, Zaida. DURÁN, Mayra. PORTILLA, Heidy. Concordancia Inter-Observador en auscultación Pulmonar Mediante Simuladores en Estudiantes de Medicina de la Universidad de Pamplona. En: Inbiom. Febrero, 2013. vol. 1 no 1, p 17- 20.

Figura 23. Concordancia inter observador.



También en la prueba se determinó la concordancia intra observador para los cinco evaluadores, donde por cada observador se obtuvo tres kappas (TAC, virtual e impreso): Para el observador 1 se presentó un kappa mayor en el biomodelo impreso mostrando una concordancia aceptable, en el observador 2 se presentó una correlación mayor el biomodelo virtual presentando una concordancia casi perfecta en comparación al tac y al biomodelo impreso con una concordancia aceptable. Para el observador 3 presentó una coincidencia mayor en el biomodelo impreso siendo moderado, en el observador 4 el kappa tanto para el biomodelo impreso como virtual llegó a ser 1. Para el último observador la coincidencia del TAC y el biomodelo virtual corresponde a 1 representando una concordancia casi perfecta, representado en la figura 24.

Figura 24. Concordancia inter observador.



4.4.2 Clasificación de fracturas de meseta tibial a partir de la integración del instrumento de segmentación. Aparte de clasificar las fracturas de meseta en los tres formatos de visualización se busca evaluar la utilidad de integrar herramientas para la segmentación de la meseta basándose en el sistema de clasificación de cuatro cuadrantes. El instrumento de segmentación se evaluó tomando dos casos presentados en el HUS de fracturas de meseta tibial los cuales se evaluaron en seis sesiones, en cada sesión se clasificaron los dos casos variando la forma de visualización (tomografías axiales computarizadas visualizada en un aplicativo DICOM, el biomodelo virtual presentado en PDF 3D y el biomodelo impreso). El instrumento se presentó a cinco evaluadores que constaban de tres residentes y dos ortopedistas con mayor de un año de experiencia en el tratamiento de fracturas de meseta tibial, también se le entregó en conjunto a los casos una ficha de clasificación presentada en el anexo 1. Previo a la realización de las sesiones se le presentó al ortopedista un video donde se explicaba la implementación de la herramienta segmentando la fractura fundamentándose en el sistema clasificación de cuatro cuadrantes.

Seguido de la prueba se organizó la información en el Excel y se ingresó a un software llamado R donde se obtiene el coeficiente kappa, la concordancia entre observadores para cada formato de visualización (tomografías axiales computarizadas visualizadas en un aplicativo DICOM, el biomodelo virtual presentado en PDF 3D y el biomodelo impreso), resultó de la siguiente manera: debido a que los casos evaluados por los cinco observadores solo fueron dos, dio como resultados kappas negativos en los tres formato de visualización, por lo que se concluyó que establecer una concordancia evaluando solo dos casos no es suficiente para determinar la influencia de la herramienta para aportar en la mejora de la concordancia inter observador. Aunque se presenta los resultados de la concordancia en la siguiente figura siendo el kappa del biomodelo impreso mayor que las imágenes tomograficas y el biomodelo impreso (**ver Anexo B**).

Figura 25. Concordancia inter observador con instrumento



Para la concordancia intra observador con instrumento también se evaluaron dos casos contemplando la implementación de los tres formatos de visualización (tomografías axiales computarizadas visualizadas en un aplicativo DICOM, el biomodelo virtual presentadas en PDF 3D y el biomodelo impreso) resultando de la siguiente manera, debido a que el número de casos evaluados por observador era muy pequeño, no puede establecer que la prueba influya en determinar que la herramienta de segmentación permite mejorar o no la concordancia intra observador.

Figura 26. Concordancia intra observador con instrumento.

CONCORDANCIA INTRA OBSERVADOR		
Kappa de fleiss para hallar la concordancia intra observador para la clasificación de fracturas de meseta tibial basado en el sistema de cuatro cuadrantes utilizando tres formatos diferentes de visualización.		
OBSERVADOR 1 TAC	VIRTUAL	IMPRESO
Kappa 1	Kappa 1	Kappa 0.2
OBSERVADOR 2 TAC	VIRTUAL	IMPRESO
Kappa 1	Kappa 1	Kappa 0.2
OBSERVADOR 3 TAC	VIRTUAL	IMPRESO
Kappa 0.2	Kappa 0.2	Kappa 1
OBSERVADOR 4 TAC	VIRTUAL	IMPRESO
Kappa 0.2	Kappa 1	Kappa 1
OBSERVADOR 5 TAC	VIRTUAL	IMPRESO
Kappa 0.2	Kappa -0.333	Kappa 1

Posterior a la prueba se les realizó una encuesta a tres evaluadores con el propósito de que ellos den su punto de vista sobre la implementación de los biomodelos y el instrumento de segmentación en el tratamiento de fracturas de meseta tibial para la etapa de clasificación, la cual se estableció lo siguiente: para el primer evaluador que corresponde a un residente con tres años de experiencia de tratamientos de fractura de meseta tibial consideró que tanto el biomodelo impreso como virtual no son necesarios para la clasificar la fractura como se observa en la figura 27.

Figura 27. Percepción del biomodelos e instrumento de segmentación por parte del evaluador 1 para el tratamiento de fracturas.



En el caso del evaluador 2 que corresponde a un residente con un año de experiencia en el tratamiento de fracturas de meseta tibial considero que el instrumento de segmentación se podría ser apropiado en el aprendizaje de sistema de clasificación de cuatro cuadrantes porque permite establecer la identificación de los puntos anatómicos (Figura 28).

Figura 28. Percepción del biomodelos e instrumento de segmentación por parte del evaluador 2 para el tratamiento de fracturas.




EVALUADOR 2
Residente R2

1 año de experiencia
en fracturas de
meseta tibial

El evaluador 3 que corresponde a un ortopedista con más de cuatro años de experiencia en el tratamiento de fracturas de meseta tibial consideró que la implementación de biomodelos impresos no era necesario para la clasificación de la fractura en casos de lesiones de la meseta tibial (Figura 29).

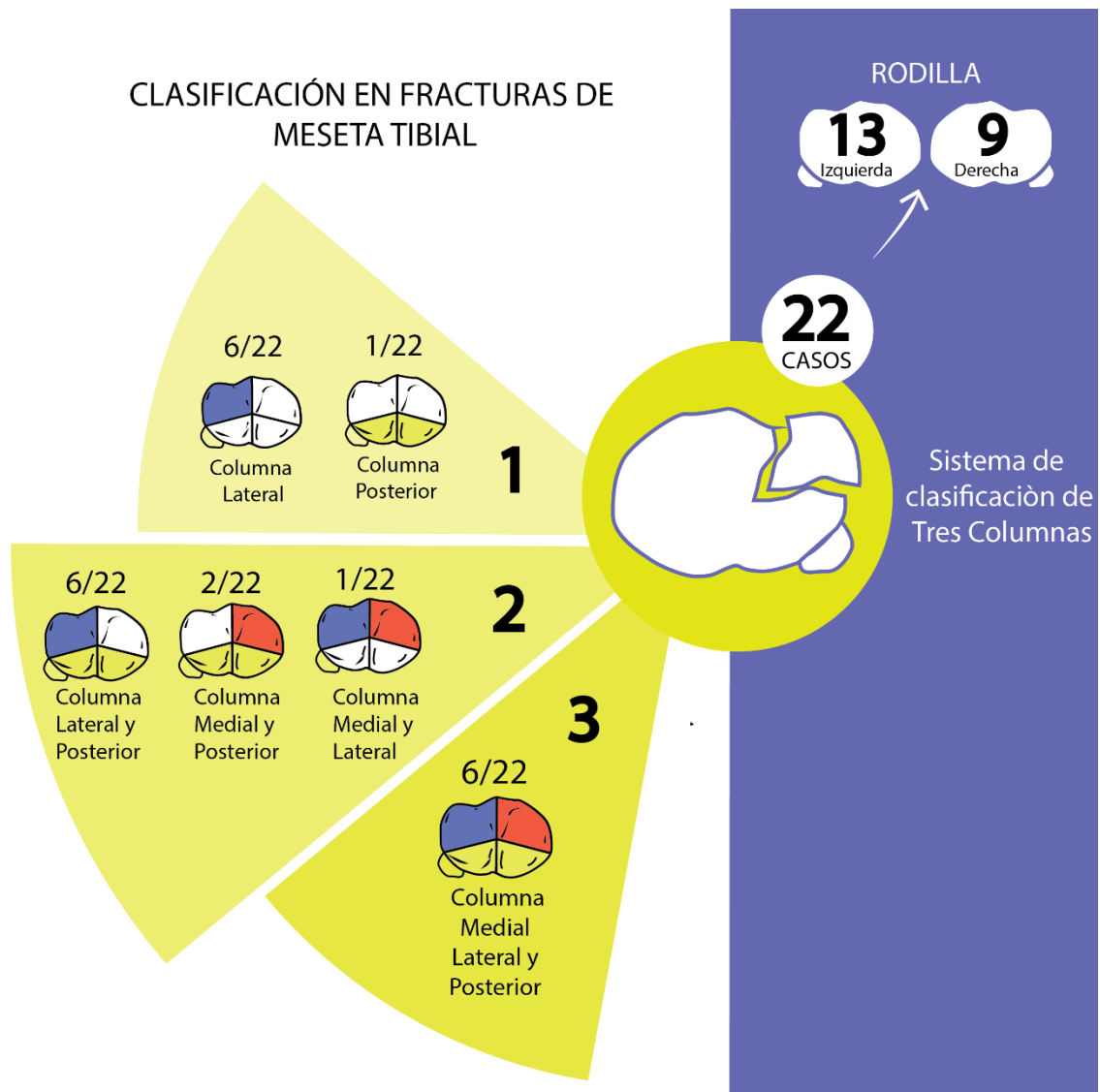
Figura 29. Percepción del biomodelos e instrumento de segmentación por parte del evaluador 3 para el tratamiento de fracturas.



4.4.3 Características morfológicas en diferentes tipos de fractura de meseta tibial enfocado en la clasificación de tres columnas. Se recolectaron un total de 22 casos de fracturas de meseta tibial entre el 2016 al 2017 en el Hospital Universitario de Santander, los cuales fueron clasificadas por un residente con más de dos años de experiencia en el tratamiento de fracturas de meseta tibial, los casos se obtuvieron a partir del TAC y se caracterizaron con el sistema de clasificación de fracturas de tres columnas. De los 22 casos 13 correspondieron a fracturas en la rodilla izquierda y los nueve restantes a la rodilla derecha, de todos los casos solo cuatro corresponde a pacientes mujeres.

Las fracturas se caracterizaron de la siguiente manera: 7 casos contemplan una fractura donde se presenta afectación en una sola columna; donde 6 se relacionaban con fracturas de la columna lateral y un caso a fractura de la columna posterior. En 8 casos se presentaron fracturas donde se afectan dos columnas; 6 corresponde a una fractura de las columnas lateral y posterior, 2 afectan a las columnas medial y posterior; y en un caso se presentan fracturas de la columna medial y lateral. Los 6 casos restantes corresponden a fracturas que afectan las tres columnas (lateral, medial y posterior) (ver figura 30).

Figura 30. Clasificación de 22 casos de meseta tibial basado en el sistema de tres columnas.



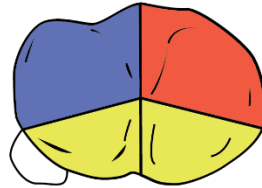
La zona donde se presentó menores casos de fractura corresponde a la columna medial con solo nueve casos, en cambio la zona donde se presentó mayores casos de fractura fue en la columna lateral con 19 casos; en la zona de la columna posterior se presentaron 15 casos donde se determinó fractura como se describe la

figura 31. La segmentación de las zonas se realizaba de forma visual y se tomaba como referente un corte del tac para clasificar la fractura.

Figura 31. Frecuencia de fractura por columna en la zona de la meseta tibial.

Frecuencia de afectación de fractura por columna

19/22
Columna
Lateral



9/22
Columna
Medial

15/22
Columna
Posterior

Evaluador

Residente con experiencia mayor a dos años en tratamiento de fracturas de meseta tibial.

Forma de visualización

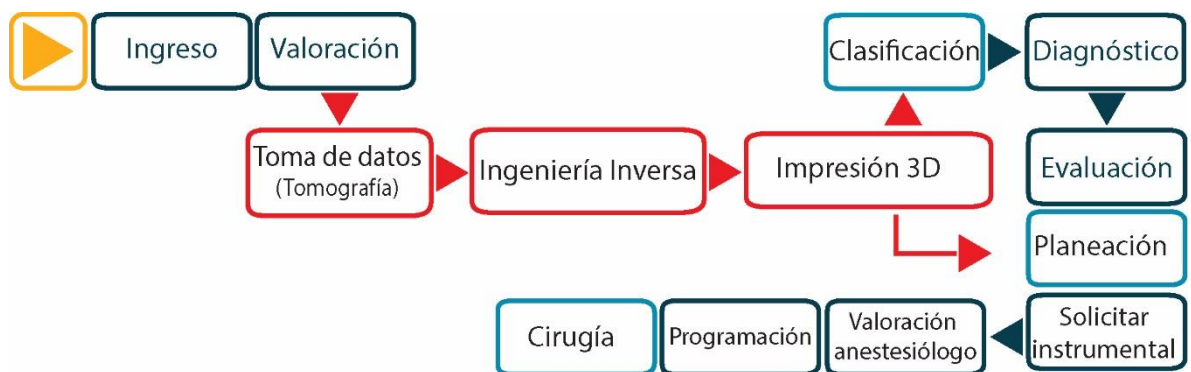
Imágenes TAC / Visor DICOM

Durante el proceso de caracterización no se visualizaron las imágenes tridimensionales para determinar la clasificación de la fractura, pero durante el proceso el residente sugirió la importancia de no solo visualizar un corte del tac sino que se pudiera comprender la fractura de forma tridimensional debido a que los trazos de fractura podían abarcan más de una columna y que con solo visualizar pocos cortes no era suficiente para establecer las zonas donde se presentaban fractura.

4.4.4 Integración de nuevas tecnologías en el protocolo para el tratamiento de fracturas de meseta tibial. El propósito de integrar un modelo que contemple la ingeniería inversa y la impresión 3D en el protocolo implementado en el HUS, para el tratamiento de fracturas de meseta tibial a fin de mejorar y brindar herramientas en la etapa de clasificación, con el propósito de optimizar la identificación de líneas de fractura.

Este método propone integrar dos etapas al protocolo realizado para el tratamiento de fractura de meseta tibial como se presenta en la figura 32, para ello se busca que se presente una comunicación entre expertos (ortopedista, técnico de tomografía y diseñador).

Figura 32. Propuesta de integración de nuevas tecnologías en el protocolo para el tratamiento de fracturas de meseta tibia.



Se busca integrar el término de trabajo cooperativo en las etapas de ingeniería inversa e impresión 3D, el cual se entiende como la interacción y colaboración de los involucrados para la búsqueda de soluciones que permitan integrar procesos y tecnologías para generación de Biomodelos físicos y virtuales⁷⁵.

El modelo propone abordar tres etapas: la primera se establece como **Toma de datos** donde el técnico de tomografía realiza el examen diagnóstico al paciente y entrega al ortopedista la información, en esta etapa aunque no se contempla una validación de las imágenes diagnósticas se debió considerar por los involucrados que el espesor de la escaneada debe ser de no mayor a 1mm, para poder permitir

⁷⁵ ROBIONY, Massimo. SALVO, Iolanda, et al. Virtual Reality Surgical Planning for Maxillofacial Distraction Osteogenesis: The Role of Reverse Engineering Rapid Prototyping and Cooperative Work. En: Journal of Oral and Maxillofacial S, urgery. Junio, 2007. vol. 65 no. 6, p 1198-1208.

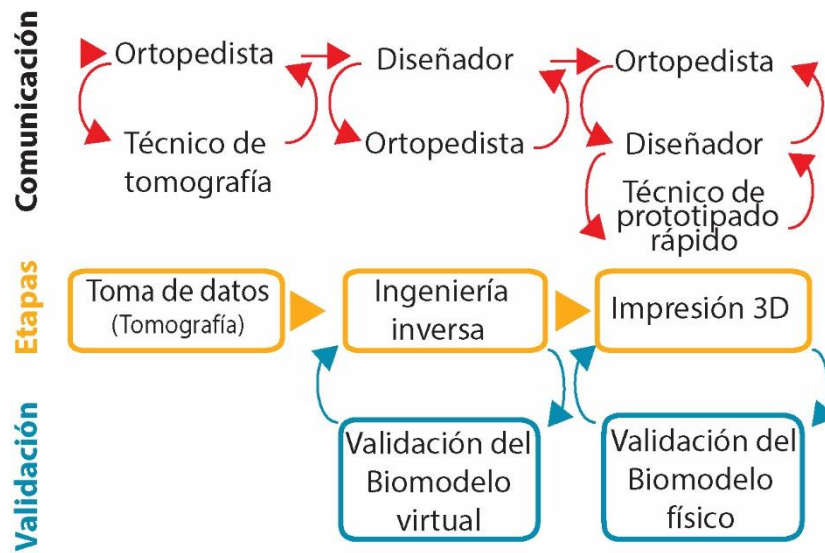
la generación de biomodelos virtuales y que la información entregada al ortopedista debe ser almacenada en un CD-ROM en conjunto a un visor DICOM.

La segunda etapa se denominó **Ingeniería Inversa** donde el ortopedista entrega los datos al diseñador el cual con la ayuda de un software BIOCAD toma las imágenes diagnósticas y genera un biomodelo virtual caracterizado por ser una malla poligonal. La validación se establece a partir de una reunión entre el ortopedista y diseñador donde se observa si el biomodelo obtenido permite al ortopedista poder comprender la fractura de forma global, al establecer un acuerdo entre ambas partes se prosigue a la siguiente etapa.

La última etapa comprendida como **Impresión 3D** el diseñador entrega el biomodelo al técnico de prototipado rápido, el cual imprime el biomodelo y le entrega al diseñador, en este caso la validación se establece en la observación por parte del ortopedista y diseñador del biomodelo impreso para establecer si el espesor de la capa de impresión permite la visualización y la compresión de las líneas de fractura presentes.

El modelo propone establecer a partir de la comunicación de los involucrados que se pueda obtener resultados más óptimos en cada una de las etapas a partir de reuniones, pruebas de los biomodelos o el ensayo y error. Como se presenta en el esquema de la figura 33.

Figura 33. Esquema de correlación entre los involucrados, etapas y validación.



La comunicación entre expertos para el tratamiento de fracturas y la integración de las etapas al protocolo debe ir acompañada de un proceso de validación, tanto en la generación del biomodelo virtual como del biomodelo físico. Debido a que se pueden presentar un modelo virtual con fallas que puede incidir en la etapa de impresión del modelo o considerar la calidad de la impresión y el color de material puede alterar la visualización de las líneas de fractura.

4.4.5 Flujo de trabajo. Con la finalidad de poder integrar los biomodelos al tratamiento de fracturas de meseta tibial se propone un flujo de trabajo enfocado en las etapas de toma de datos, ingeniería inversa e impresión 3D como se describe en el **Anexo C**.

El flujo de trabajo comienza en el momento de que el ortopedista **ordena la realización de la tomografía**, estableciendo la zona anatómica a escáner y el formato archivo donde se debe guardar las imágenes diagnósticas, seguidamente

se **realiza el TAC** con el técnico de tomografía, para luego entregar las imágenes tomográficas al ortopedista.

Luego el ortopedista entrega al diseñador en un CD-ROM solicitando la impresión 3D de la meseta tibial para realizar la clasificación de la lesión, que permita visualizar las líneas de fractura presentes. El diseñador después de recibir la solicitud indaga sobre que se ha realizado para identificar aspectos a tener en cuenta, esta actividad se estableció como **Interpretación de necesidades y requerimientos para la reconstrucción 3D**.

Posteriormente se realiza la **validación de la calidad del TAC** donde según los requerimientos, se observa si primero, las imágenes tomográficas corresponden a la zona de la meseta, que el espesor de la imagen sea el indicado y que el formato del archivo permita importarse en un software BIOCAD. Después se prosigue con la **traducción de las imágenes TAC a Biomodelo 3D**, en esta actividad se utiliza un software que permite reconstruir las imágenes diagnosticas en un biomodelo virtual, en esta actividad se debe tener presente que la escala hounsfiel debe abarca tanto el hueso esponjoso y compacto.

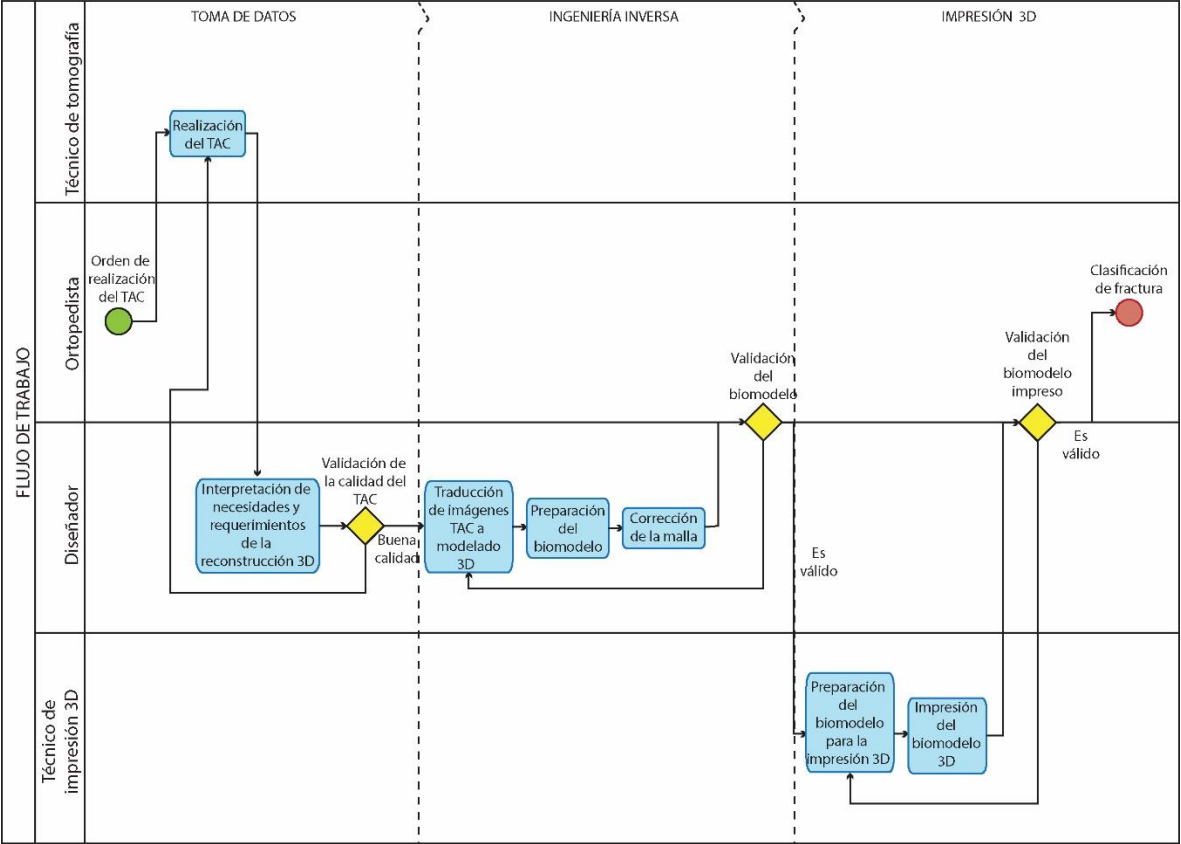
Seguidamente con el propósito de establecer características que permita la impresión se establece la actividad de **preparación del biomodelo**, donde se conservan características como la distancia de la tibia al peroné, la longitud de la meseta sin que pierda trazos de fractura. Después se exporta el biomodelo a un software CAD para identificar si presenta error en la malla para luego corregirlo, esta actividad se comprende como **corrección de malla**.

Siguiendo con las actividades se continúa con la **validación del biomodelo** donde el diseñador presenta el biomodelo virtual y plantea modificaciones que no alteren las características de los trazos de fractura, pero si aspectos que permite mayor detalle y conservar la distancia entre las partes del biomodelo.

La actividad a seguir es la **preparación del biomodelo para la impresión 3D** donde el diseñador entrega los datos al técnico de impresión 3D, el cual ingresa el biomodelo a un software que permite configurarlo para la impresión. Seguidamente se realiza la **impresión del biomodelo** teniendo a consideración que el filamento de impresión sea PLA blanco.

Al imprimirse el biomodelo se presenta al ortopedista y al diseñador con el propósito de establecer si se puede visualizar con claridad los trazos de fractura especialmente la superficie de la meseta, esta actividad se conoce como la **validación del biomodelo 3D**. Al determinar que el biomodelo permite caracterizar la fractura con el sistema de clasificación de cuatro cuadrantes se clasifica la fractura. (Figura 34).

Figura 34. Flujo de trabajo para la integración de biomodelos al tratamiento de fracturas de meseta tibial.



El flujo propone definir unas especificaciones separadas en tres categorías: la primera corresponde a la métrica donde se establecen aspectos como el espesor de la capa en la impresión 3D y la escala de Hounsfield. La segunda categoría hace referencia a las tecnologías a implementar como lo son el software para la reconstrucción, preparación del modelo para la impresión y a la técnica de impresión 3D. La última técnica hace parte de la práctica como son el sistema de clasificación y la integración de los métodos. Estas especificaciones se presentan contenidas en la siguiente tabla.

Tabla 9 Especificaciones finales

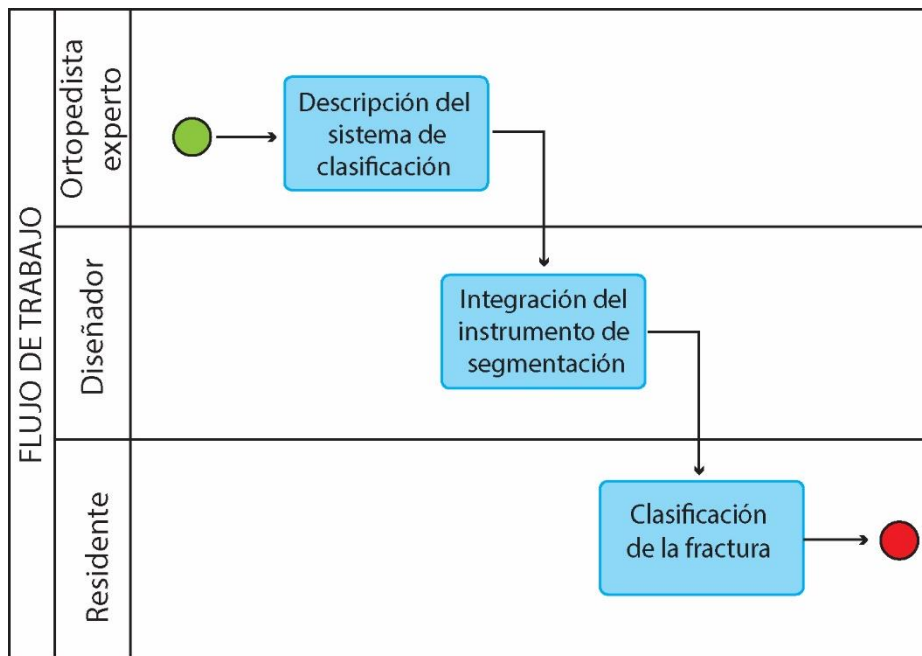
MÉTRICA	Unidad	Criterio
Espesor de la capa en el examen diagnostico	mm	1 mm
Escala del modelo impreso	mm	1:1
Escala de Hounsfield	-	Desde 148 hasta 1809
Espesor de la capa en la impresión 3D	mm	0.1 mm
Tiempo de reconstrucción de las imágenes diagnósticas	h	21h tibia / 2h peroné
TECNOLOGÍAS	Unidad	Criterio
Examen diagnóstico	-	TAC
Software de reconstrucción de imágenes medicas	-	Mimics
Software de preparación del modelo para la impresión	-	CURA
Técnica de impresión 3D	-	Deposición fundida
PRÁCTICAS	Unidad	Criterio
Sistema de clasificación para fracturas de meseta tibial	-	Tres columnas Cuatro cuadrantes
Método de integración de nuevas tecnologías	-	Ingeniería Inversa Impresión 3D
Tipo de formato de archivo de imágenes diagnósticas y del biomodelo	-	DICOM STL

4.4.6 Flujo de trabajo para la integración del instrumento de segmentación como herramienta de aprendizaje para la caracterización de la fractura de meseta tibial basado en el sistema de cuatro cuadrantes. El instrumento de segmentación se propone como una herramienta para optimizar la clasificación de fracturas de meseta tibial en residentes que no tenga conocimiento en tratamientos de fracturas a partir del sistema de clasificación de cuatro cuadrantes.

El flujo establece tres actividades: la primera es la **descripción del sistema de clasificación** donde un experto en clasificación y en el tratamiento de fracturas de meseta tibial describe la ubicación de los puntos anatómicos y la división de los cuadrantes, posterior sigue con la **integración del instrumento de segmentación** donde a partir de un video se explica la utilización de la herramienta para seccionar

en las imágenes diagnósticas (TAC). Por último, se realiza la **clasificación de la fractura** en la cual los residentes emplean el instrumento para la identificar y segmentar el caso de fractura para la clasificarlo.

Figura 35. Flujo de trabajo para la integración del instrumento de segmentación.



5. CONCLUSIONES

- En la identificación de oportunidades para la integración de biomodelos impresos o virtuales se estableció que, en el caso de fracturas de meseta tibial en el Hospital Universitario de Santander, no se implementa este tipo de herramientas en ninguna de las etapas tratamiento, por lo que se propuso definir herramientas que permitan la visualización y la compresión global de las fracturas. Una de las herramientas propuestas en el proyecto fue el biomodelo impreso que junto a la aplicación de términos como ingeniería inversa y trabajo cooperativo se pudo obtener un biomodelo que permitiera la visualización de líneas de fractura, aportando en poder brindar al ortopedista una retroalimentación táctil y espacial.
- En el presente proyecto se pudo recolectar 22 casos de fractura de meseta tibial presentados en el HUS, los cuales se clasificaron en el sistema de tres columnas con el propósito de poder identificar en que zonas de la meseta se presentó con mayor frecuencia líneas de fractura. esto dio como resultado 3 tipos de fractura más comunes: fractura de las tres columnas con 6 casos, fractura de la columna lateral y posterior con 6 casos y fractura de la columna lateral con 6 casos. Aparte se pudo establecer que las columnas lateral y posterior son más propensa a presentar fractura ya que de los 22 casos en 19 se presentó fractura en la zona lateral y 15 en la zona posterior.
- Se propuso en el proyecto como respuesta que en algunos casos los residentes con poca experiencia en tratar fracturas de meseta tibial presentaban dificultad en la ubicación de los puntos anatómicos para la segmentación en columnas de la meseta, debido a que no todos los puntos se localizan en el mismo corte del TAC y el observador tenía que pasar una y otra vez las imágenes. Por lo que se propuso un instrumento que permite en el caso de las imágenes diagnosticar

poder segmentar la meseta de forma visual basándose en el sistema de clasificación de cuatro cuadrantes.

- Por ultimo con el propósito de evaluar las herramientas que se propusieron en el presente proyecto, se realizó una prueba donde se seleccionaron seis casos y se clasificaron por medio de la observación de los biomodelos impresos, los biomodelos virtuales y el método convencional de visualización de fractura las tomografías computarizadas por separado, para determinar la concordancia intra e inter observador clasificando la fractura en el sistema de cuatro cuadrantes.
- La prueba permitió establecer: primero que la visualización de modelos impresos mejora la concordancia intra observador en residentes en comparación de la visualización de las imágenes tomográficas. Segundo en la concordancia inter observador se presentó una leve mejoría al caracterizar los casos con el biomodelo impreso en comparación a las imágenes tomográficas. Tercero en la prueba se presentó confusión por parte de los evaluadores de que meseta correspondía (rodilla derecha o rodilla izquierda) debido a que en las imágenes tomográficas se presenta invertidas.
- En la prueba para establecer si el instrumento de segmentación permite aumentar la concordancia, se estableció que los casos eran muy escasos para determinarlo; pero en la encuesta se pudo establecer que el instrumento puede aportar en el aprendizaje del sistema de clasificación de cuatro cuadrantes ya que permite definir en el residente de menor de un año de experiencia el reconocimiento de los puntos anatómicos.
- Aunque la implementación de la herramienta de visualización para la caracterización de fracturas de meseta tibial no fue bien percibida por ortopedistas y residentes de más de tres años de experiencia en el tratamiento de fracturas de meseta, si es considerado útil para los residentes con menos de

dos años de experiencia, debido a que la experiencia de los ortopedistas les permite identificar con mayor facilidad las características de fractura y establecer gracias a la practica un abordaje. Por lo que se propone la integración de biomodelos impreso y el instrumento de segmentación para el aprendizaje y entrenamiento de fracturas de meseta tibial para la clasificación.

BIBLIOGRAFÍA

BERCHON, Mathilde. LUYT, Bertier. La impresión 3D guía definitiva para makers, diseñadores, estudiantes, profesionales, artistas y manitas en general. Malaga: Gustavo Gili, 2016. p. 31-48.

BISHOP, Julius. GITHERNS, Michael. Surgical Treatment of Posterior Tibial Plateau Fractures. EN: Operative Techniques in Orthopaedics. Septiembre, 2015. Vol. 25 no. 4, p. 242-247.

BRUNNER, Alexander. HORISBERGER, Monika. Classification systems for tibial plateau fractures; ¿Does computed tomography scanning improve their reliability? En: Injury. 2010. Vol. 41, p. 173-178.

CASTILLO, Mauricio. ALVAREZ, Alejandro. CABANA, Ricardo. Design thinking: como guiar a estudiantes, emprendedores y empresarios en su aplicación. En: Ingeniería Industrial. Septiembre, 2014. vol 35, no. 3, p 301-311.

CERDA, Jaime. VILLARROEL, LUIS. Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. En: Revista chilena de pediatría. Febrero, 2008. Vol. 79 no.1, p. 54-58.

DODD, Andrew. ODDONE, Elizabeth. The effect of three-dimensional computed tomography reconstructions on preoperative planning of tibial plateau fractures: a case-control series. En: BMC Musculoskeletal Disorders. 2015. Vol. 16, no. 1, p 1-6.

DOORNBORG, Job. RADEMAKERS, Maarten. Two-dimensional and three-dimensional computed tomography for the classification and characterisation of tibial plateau fractures. En: Injury. Marzo, 2011. Vol. 42 no. 12, p. 1416-1425.

GIANNETTI, Silvio. BIZZOTTO, Nicola. STANCATI, Andrea. Minimally invasive fixation in tibial plateau fractures using an pre-operative and intra-operative real size 3D printing. En: Injury. Marzo, 2017. Vol. 48, no. 3, p 784-788.

GICQUEL, Thomas. VENDEUVRE, Tanguy. Tibial plateau fractures: Reproducibility of three classifications (Schatzker, AO, Duparc) and a revised Duparc classification. En: Orthopaedics and Traumatology: Surgery and Research. Junio, 2013. Vol. 99 no. 7, p. 805-816.

GROOVER, Mikell. ZIMMERS, emory. CAD/CAM: Computer-Aided Design and Manufacturing. New Jersey: Prentice Hall, 1984. p. 20-28.

HIEU, L. ZLATON, N. Medical rapid prototyping applications and methods. En: Assembly Automation. 2005. Vol. 25, no. 4, p. 284-292.

HU, Yan-Ling. Ye, Fa-Gang. Three-dimensional computed tomography imaging increases the reliability of classification systems for tibial plateau fractures. En: Injury. Febrero, 2009. Vol. 40 no. 59, p. 1282-1285.

HUANG, Huajun. HSIEH, Ming-Fa. Improved accuracy of 3D-printed navigational template during complicated tibial plateau fracture surgery. En: Australasian Physical and Engineering Sciences in Medicine. Enero, 2015. Vol. 38 no. 1, p. 109-117.

JUNIOR, Mauricio. FOGAGNOLO, Fabrício. Tibial Plateau Fractures. En: Revista Brasileira de Ortopedia. 2009. vol. 44 no. 4, p. 468-474.

JUNQUERIA, Paulo. FRANCO, Thiago. Software InVesalius Guia do Usuário. 2007. p. 8-10.

KOKKALIS, Zinon. ILIOPOULOS, Ilias. PANTAZIS, Constantinos. ¿What's new in the management of complex tibial plateau fractures? En: Injury. Marzo, 2016.vol. 47 no. 6, p. 1162-1169.

LANDIS, J Richard. KOCH, Gary. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. En: International Biometric Society. Marzo, 1977. Vol. 33 no 1, p 159- 174.

LIN, Yan-Ping. WANG, Cheng-Tao. Reverse engineering in CAD model reconstruction of customized artificial joint. En: Medical Engineering & Physics. 2005. vol 27, p. 189-193.

LIU, Zhenkai. WANG, Lihui. Integrating cross-sectional imaging based reverse engineering with rapid prototyping. En: Computers in industry. Septiembre, 2005. Vol. 57, p. 131-140.

LUO, Cong-Feng. SUN, Hui. Three-Column Fixation for Complex Tibial Plateau Fractures. En: J Orthop Trauma. Noviembre ,2010. Vol. 24 no. 11, p.683-692.

MARKHARDT, Keegan. GROSS, Jonathan. Schatzker Classifica- tion of Tibial Plateau Fractures: Use of CT and MR Imaging Improves Assessment. En: RadioGraphics. Marzo, 2009. Vol. 29, no. 2, p. 585-598.

MATIAS, Mariana. ZENHA, Horácio. COSTA, Horácio. Three-Dimensional Printing: Custom-Made Implants for Craniomaxillofacial Reconstructive Surgery. En: CAD Computer Aided Design. Enero, 2017. Vol. 10 no 2, p 89-98.

MELLEMA, Jos. DOORNBERG, Job. Interobserver reliability of the Schatzker and Luo classification systems for tibial plateau fractures. En: Injury. Diciembre, 2016. Vol. 47, p. 944-949.

MOLENAARS, Rik. MELLEMA, Jos. Tibial Plateau Fracture Characteristics: Computed Tomography Mapping of Lateral, Medial, and Bicondylar Fractures. En: The Journal of bone and joint surgery. Septiembre, 2015. Vol. 97, no.18, p. 1512-1520.

PATANGE, Sheethal. LEWIS, James. Three-column classification and Schatzker classification: a three- and two-dimensional computed tomography characterisation and analysis of tibial plateau fractures. En: European Journal of Orthopaedic Surgery and Traumatology. Febrero, 2014. Vol. 24, no. 7, p. 1263-1270.

RAMOS, Antonio. SIMOES, Jose. CAD-CAM-RTV – lost-wax casting technology for medical implants. En: Rapid Prototyping. 2011. vol. 15, no. 3, p. 211-215.

SCOTT, W. Lower Limbs. Nsall & Scott surgery of the knee. Elsevier Health Sciences, 2012. p153.

STROET, Martijn. HOLLA, Micha. The value of a CT scan compared to plain radiographs for the classification and treatment plan in tibial plateau fractures. En: Emerg Radiol. Marzo, 2011. Vol. 18, p. 279-283.

SUERO, Eduardo. HÜFNER, Tobias. Use of a virtual 3D software for planning of tibial plateau fracture reconstruction. En: Injury. Octubre, 2010. Vol. 41 no. 6, p. 589-591.

SUN, Wei. STARLY, Binil. NAM, Jae. DARLING, Andrew. Bio-CAD modeling and its applications in computer-aided tissue engineering. En: CAD Computer Aided Design. Febrero, 2005. Vol. 37 no 11, p 1097-1114.

ULRICH, Karl. EPPINGER, Steven. Diseño y desarrollo de productos. Quinta edición. Ciudad de Mexico: Mc Graw Hill, 2013. p 73-116.

VARGAS, Zaida. DURÁN, Mayra. PORTILLA, Heidy. Concordancia Inter-Observador en auscultación Pulmonar Mediante Simuladores en Estudiantes de Medicina de la Universidad de Pamplona. En: Inbiom. Febrero, 2013. Vol. 1 no 1, p 17- 20.

VÁSQUEZ, Javier. Tac – tach – tem – tcmd manual práctico de tomografía. P. 15-88.

XIANG, Gao. ZHI-JUN, Pan. QIANG, Zheng. HANG, Li. Morphological Characteristics of Posterolateral Articular Fragments in Tibial Plateau Fractures. En: Orthopedics. Octubre, 2013. Vol. 36, no. 10, p 1256- 1261.

YANG, Peng. DU, Di. ZHOU, Zhibin. 3D printing-assisted osteotomy treatment for the malunion of lateral tibial plateau fracture. En: Injury. Septiembre, 2016. Vol. 47 no 12, p 2816-2821.

YONGNIAN, Yan. SHENGJIE, LI. Rapid Prototyping and Manufacturing Technology: Principle, Representative Technics, Applications, and Development Trends. En: Tsinghua Science and Technology. Junio, 2009. Vol. 14, p. 1-12.

YOON, Richard. LIPORACE, Frank. EGOL, Kenneth. Definitive Fixation of Tibial Plateau Fractures. {En línea} {09 febrero de 2019} disponible en: (<http://dx.doi.org/10.1016/j.ocl.2015.02.005>).

ZHANG, Jianchao. YU, Zhihong. Overview of 3D Printing Technologies for Reverse Engineering Product Design. En: Automatic Control and Computer Sciences. Enero, 2016. Vol. 50, no. 2, p. 91-97.

ZHU, Yi. YANG, Guang, et al. Computed tomography-based Three-Column Classification in tibial plateau fractures: Introduction of its utility and assessment of its reproducibility. En: Trauma Acute Care Surg. Enero, 2012. Vol. 73 no. 3, p. 731-737.