



BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE AGUASCALIENTES

CENTRO DE CIENCIAS DE LA SALUD

CENTENARIO HOSPITAL MIGUEL HIDALGO
SERVICIO DE CIRUGIA GENERAL
DEPARTAMENTO DE ORTOPEDIA Y TRAUMATOLOGÍA

TESIS

**PLANIFICACIÓN PREOPERATORIA CON IMPRESIÓN 3D
EN LESIONES ÓSEAS COMPLEJAS EN ACETÁBULO**

PRESENTA

Víctor Hugo Duran Puente

PARA OBTENER EL GRADO DE ESPECIALIDAD DE ORTOPEDIA Y
TRAUMATOLOGÍA

ASESORES

Dr. Ignacio Soto Juárez

Dr. Luis Gabriel Ortiz Díaz

Aguascalientes, Ags, febrero, 2025



HOSPITAL MIGUEL HIDALGO
AGUASCALIENTES

Comité de Ética en Investigación
Miguel Hidalgo

COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN COMITÉ DE INVESTIGACIÓN

CEI-CI/031/24

Aguascalientes, Ags., a 27 de mayo de 2024

DR. VICTOR HUGO DURAN PUENTE
INVESTIGADOR PRINCIPAL

En cumplimiento con las Buenas Prácticas Clínicas y la Legislación Mexicana vigente en materia de investigación clínica, el Comité de Ética en Investigación y el Comité de Investigación del Centenario Hospital Miguel Hidalgo, en su Sesión del día 19 de Octubre del 2023, sometió a revisión el protocolo con número de registro **2023-R-43** y decidió **APROBAR** el proyecto de investigación para llevar a cabo en este Hospital, titulado:

"PLANIFICACIÓN PREOPERATORIA CON IMPRESIÓN 3D EN LESIONES OSEAS COMPLEJAS EN ACETÁBULO"

Sin otro particular, se solicita a los investigadores entregar resumen de resultados obtenidos al finalizar la investigación. En caso de existir modificaciones al proyecto es necesario que sean reportadas al Comité.

ATENTAMENTE

DR. JAIME ASÁEL LÓPEZ VALDEZ
PRESIDENTE DEL COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN
VOCAL SECRETARIO DEL COMITÉ DE INVESTIGACIÓN

WU/tercera





DR FELIPE DE JESÚS FLORES PARKMAN SEVILLA
JEFE DE DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN
CENTENARIO HOSPITAL MIGUEL HIDALGO

PRESENTE

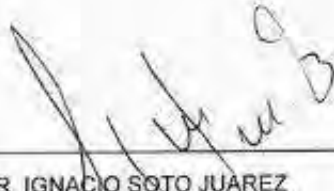
Estimado Dr. Flores:

En respuesta a la petición hecha por el médico residente Victor Hugo Duran Puente, con relación a presentar una carta de aceptación de su trabajo de tesis titulado:

"PLANIFICACIÓN PREOPERATORIA CON IMPRESIÓN 3D EN LESIONES ÓSEAS COMPLEJAS EN ACETABULO"

Nos permitimos informarle que, una vez leído y corregido el documento, consideramos que llena los requisitos para ser aceptado e impreso como trabajo final.

Sin mas por el momento aprovechamos la oportunidad para hacerle llegar un cordial saludo



DR. IGNACIO SOTO JUAREZ
ASESOR DE TESIS

"PLANIFICACIÓN PREOPERATORIA CON IMPRESIÓN 3D EN
LESIONES ÓSEAS COMPLEJAS EN ACETABULO"

HOJA DE AUTORIZACIONES



Coordinador Hospital
Miguel Hidalgo



CMH
CENTRO
MIGUEL HIDALGO

DEPARTAMENTO DE
ENSEÑANZA E
INVESTIGACION

DR. FELIPE DE JESÚS FLORES PARKMAN SEVILLA

JEFE DE DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN

14-7-20
1
DR. ANGEL MARTINEZ HERNANDEZ

JEFE DE SERVICIO DE TRAUMATOLOGÍA Y ORTOPEDIA

DR LUIS GABRIEL ORTIZ DIAZ

PROFESOR TITULAR DEL POSGRADO EN TRAUMATOLOGIA Y ORTOPEDIA

DR. IGNACIO SOTO JUÁREZ

ASESOR DE TESIS



DICTAMEN DE LIBERACIÓN ACADÉMICA PARA INICIAR LOS TRÁMITES DEL
EXAMEN DE GRADO - ESPECIALIDADES MÉDICAS



Fecha de dictaminación dd/mm/aa: 06/02/25

NOMBRE: DURAN PUENTE VICTOR HUGO ID: 154849
ESPECIALIDAD: EN ORTOPEDIA Y TRAUMATOLOGIA LGAC (del LESIONES TRAUMATICAS Y ORTOPEDICAS DEL ESQUELETO
posgrado): APENDICULAR
TIPO DE TRABAJO: ☒ Tesis ☐ Trabajo práctico

TÍTULO: PLANIFICACIÓN PREOPERATORIA CON IMPRESIÓN 3D EN LESIONES ÓSEAS COMPLEJAS EN ACETÁBULO

IMPACTO SOCIAL (señalar el impacto logrado): POBLACION DE AGUASCALIENTES QUE PRESENTAN FRACTURAS DE ACETABULO

INDICAR SI/NO SEGÚN CORRESPONDA:

Elementos para la revisión académica del trabajo de tesis o trabajo práctico:

- SI El trabajo es congruente con las LGAC de la especialidad médica
SI La problemática fue abordada desde un enfoque multidisciplinario
SI Existe coherencia, continuidad y orden lógico del tema central con cada apartado
SI Los resultados del trabajo dan respuesta a las preguntas de investigación o a la problemática que aborda
SI Los resultados presentados en el trabajo son de gran relevancia científica, tecnológica o profesional según el área
SI El trabajo demuestra más de una aportación original al conocimiento de su área
SI Las aportaciones responden a los problemas prioritarios del país
NO Generó transferencia del conocimiento o tecnológica
SI Cumple con la ética para la investigación (reporte de la herramienta antiplagio)

El egresado cumple con lo siguiente:

- SI Cumple con lo señalado por el Reglamento General de Docencia
SI Cumple con los requisitos señalados en el plan de estudios (créditos curriculares, aptativos, actividades complementarias, estancia, etc.)
SI Cuenta con los votos aprobatorios del comité tutorial, en caso de los posgrados profesionales si tiene solo tutor podrá liberar solo el tutor
SI Cuenta con la aprobación del (la) jefe de Enseñanza y/o Hospital
SI Coincide con el título y objetivo registrado
SI Tiene el CVU del Conahcyt actualizado
NA Tiene el artículo aceptado o publicado y cumple con los requisitos institucionales

Con base a estos criterios, se autoriza se continúen con los trámites de titulación y programación del examen de grado

SI ☒

No ☐

FIRMAS

Revisó:

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

MCB.E SILVIA PATRICIA GONZÁLEZ FLORES

Autorizó:

NOMBRE Y FIRMA DEL DECANO

DR. SERGIO RAMÍREZ GONZÁLEZ

Nota: procede el trámite para el Depto. de Apoyo al Posgrado

En cumplimiento con el Art. 105C del Reglamento General de Docencia que a la letra señala por la autorización del Consejo Académico... Con la eficiencia terminal del programa de posgrado y el Art. 105B (autorización del) Secretario Técnico: [línea de autorización de la autorización]

REVISTA ORTHOTIPS

Agregar un artículo

1. Seleccione el tipo de trabajo (Investigación, Revisión, Etc.)

Seleccione un tipo de Artículo

27/08/24 12:56 PM

NUEVO

Artículo Original

Aplicación de la impresión 3D en la planificación preoperatoria en fracturas acetabulares.

¿Olvidó algo? Enviar una solicitud de corrección al Editor

Ver Historia

revision.medigraphic.com — Nav. privada

revision.medigraphic.com

1. S

DETALLES

Título en inglés

Application of 3D Printing in Preoperative Planning for Acetabular Fractures.

27/0

NUE

Autor

Aplic

AUTORES

Victor Hugo Durán Puente (ORCID 0009-0001-6395-0156); Ignacio Soto Juárez; Ramón Alejandro Molinero Muñoz; Humberto Antonio Hernández Gómez; Diego Cortés Ovando (ORCID 0009-0000-9420-2807); Armando Martínez Pérez (ORCID 0000-0002-2261-5327).

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de estar en este camino, y ayudarme a lograr mis metas. A mi querida esposa Alejandra, cuya amorosa dedicación y apoyo incondicional son el pilar de mi vida. A mis hijos, Luis Eduardo y Victoria, gracias por llenar mis días de risas y felicidad.

Al Centenario Hospital Miguel Hidalgo que es un honor formar parte de esta institución. así mismo a mis pacientes por su confianza.

A mis maestros ortopedistas y asesores por entregar su tiempo al brindar sus concomimientos, ayudarme a desarrollar decisiones y destrezas quirúrgicas vitales en mi formación como especialista.

A los doctores, Dr. Luis Gabriel Ortiz Díaz, Dr. Ángel Martínez Hernández, Dr. Ignacio Soto Juárez, Dr. Luis Miguel Soria Ibarra, Dr. Jorge Enrique Cervantes Gudiño, no solo por sus enseñanzas y consejos, si no por ser grandes personas y amigos.

A mis amigos de residencia, Amaro, Rivas, Molinero, Hernández, Meño, Solis, por su amistad y apoyo en esta etapa de formación como especialista. Asimismo, a mis compañeros de mayor y menor jerarquía en compartir conocimientos.

A la Universidad Autónoma de Aguascalientes por brindar la atención, apoyo y dar oportunidades para una formación personal.

Gracias.

Dedicatorias

A mi esposa Alejandra por su amor, apoyo incondicional y por ser mi compañera de vida en cada paso de este camino. A mis hijos Luis y Victoria que son mi mayor motivación y fuente de alegría, por darme fuerzas todos los días para seguir adelante.

A mis padres Miguel y Clara por su sacrificio, enseñanzas y por siempre creer en mí, incluso cuando yo dudaba de mí mismo. A mis hermanos Miguel Ángel, Salvador y Fernando por su amistad y respaldo en cada momento, por compartir conmigo tanto risas como retos.

Y a toda mi familia, por ser el motor que me impulsa y por estar siempre presentes en cada etapa de mi vida. Este logro es de todos ustedes, y con todo mi corazón, les agradezco por su amor y apoyo.

Índice General

Índice General.....	1
Índice de Tablas	4
Índice de Figuras.....	5
Resumen	7
Abstract.....	8
Introducción.....	9
Marco Teórico.....	10
2.1 Epidemiología.....	10
2.2 Aspectos Anatómicos.....	10
2.2.2 Cuadrantes	13
2.3 Mecanismo de Lesión	14
2.4 Clasificaciones	18
2.5 Clasificación de Judet y Letournel.....	20
2.5.1 Fracturas Afectando Pared Posterior	20
2.5.2. Fracturas con Afectación de Columna Posterior.....	21
2.5.3 Fracturas que Afectan la Pared Posterior	21
2.5.4 Fracturas que Afectan Columna Anterior	22
2.5.5 Fracturas con Afectaciones Transversas	23
2.5.6 Fracturas Complejas	25
2.6 Diagnóstico	28
2.6.1 Clínica	28
2.6.2 Imágenes	30
2.6.4 Tomografía Computarizada.....	33
2.6.5 Resonancia Magnética Nuclear.....	35
2.7 Tratamiento	35
2.7.1 Tratamiento Ortopédico	35
2.7.2 Tratamiento Quirúrgico	37
2.7.3 El Postquirúrgico	41
2.8 Impresión 3D	44

2.9	Historia de la Impresión 3D	44
2.10	Cómo Hacer Diseño de Modelos Anatómicos Técnicas de Impresión 3D	47
2.11	Materiales para Impresiones	51
2.12	Proceso de Impresión	52
2.12.1	Como Obtener las Imágenes	53
2.13	Software: 3D Slicer	54
2.14	Impresión 3D en Medicina	55
2.14.1	Modelos Anatómicos	55
2.14.1	Aplicaciones en Especialidades Médicas	55
2.14.2	La Impresión 3D en Cirugía de Cadera	56
2.15	Pasos para Diseño de Modelo Anatómico	56
Planteamiento del Problema		61
3.1	Magnitud	61
3.2	Trascendencia	61
3.3	Vulnerabilidad	62
3.4	Pregunta de Investigación	62
3.5	Justificación	62
Hipótesis		63
3.1	Objetivos	63
3.1.1	Objetivo General	63
3.1.2	Objetivos Secundarios	63
Materiales y Método		63
4.1	Tipo de Investigación	67
4.2	Nivel de Investigación	67
4.3	Diseño	67
4.4	Universo de Estudio	67
Población de Estudio		67
4.5	Unidad de Estudio	67
4.6	Unidad de Análisis	67
4.7	Criterios de Inclusión	67
4.8	Criterios de Exclusión	67
4.9	Cálculo de la Muestra	68

4.10	Definición de Variables	68
4.11	Instrumento de Medición	72
4.12	Métodos y Procedimiento.....	72
4.13	Análisis Estadístico.....	72
4.14	Aspectos éticos	72
4.15	Aspecto de Bioseguridad	74
4.16	Carta de Consentimiento Informado	74
4.18	Recursos, Financiamiento y Factibilidad.....	74
4.18.1	Recursos Físicos.....	74
4.18.1	Financiamiento.....	74
4.18.2	Factibilidad	74
4.18.3	Recursos humanos	74
Resultados		75
Discusión		81
Conclusiones.....		83
Glosario		84
Referencias.....		85
Anexos		90

Índice de Tablas

Tabla 1. Clasificación de las Fracturas Acetabulares..... 19

Tabla 2. Fracturas Subsidiarias de Tratamiento Quirúrgico 36

Tabla 3. Hitos de la Historia de la Impresión 3D 45

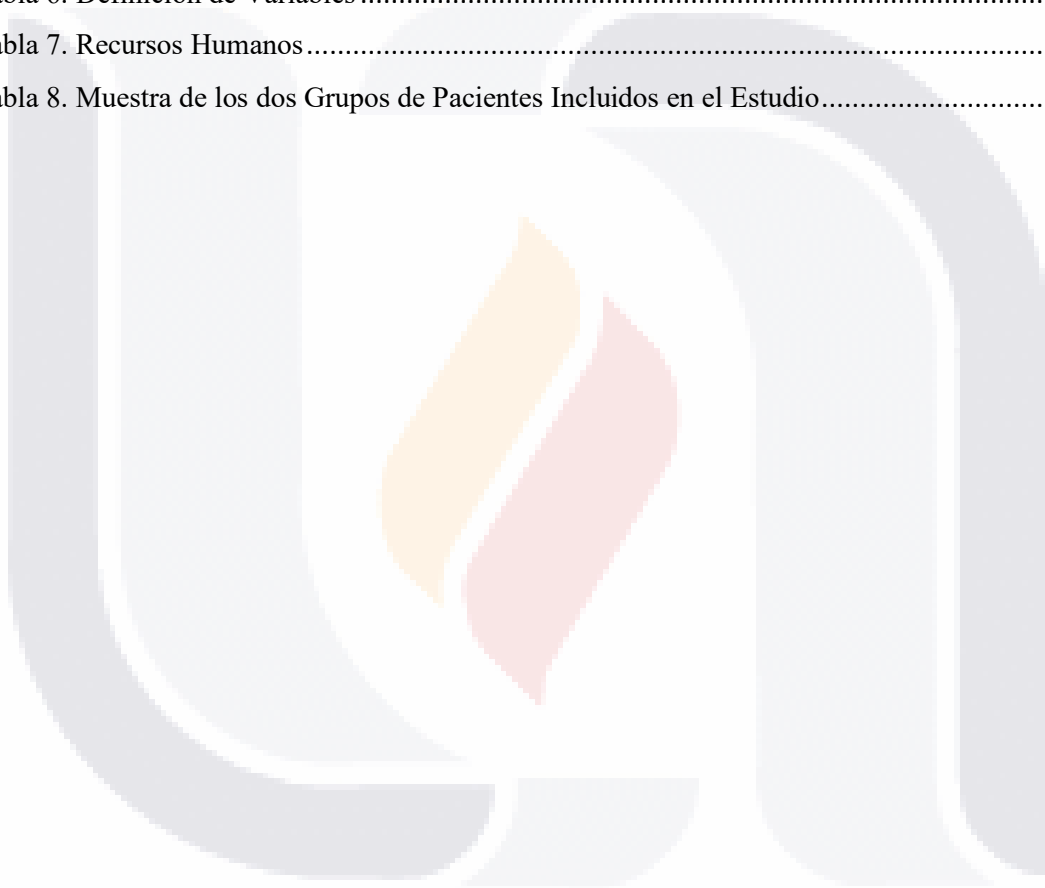
Tabla 4. Método de Impresión Empleados en Impresión 3D en Medicina 48

Tabla 5. Material más empleado..... 52

Tabla 6. Definición de Variables 69

Tabla 7. Recursos Humanos..... 75

Tabla 8. Muestra de los dos Grupos de Pacientes Incluidos en el Estudio..... 76



Índice de Figuras

Figura 1. Imagen de Leutournel E, Judet R.	11
Figura 2. Vista de Imagen Lateral y Medial de Pelvis y el Acetábulo.....	12
Figura 3. Imagen de Zonas Importantes del Acetábulo.....	13
Figura 4. Fuerzas Deformantes	15
Figura 5. Corte Vista Axial de Cadera	16
Figura 6. Áreas de Impacto en Cabeza de Fémur	17
Figura 7. Comparación de Estudio Radiográficos	20
Figura 8. Fractura Pared Anterior	22
Figura 9. Modelo de Fracturas de Columna Anterior	23
Figura 10. Fractura Transversa	24
Figura 11. Esquema Fractura Transversa	25
Figura 12. Fractura de Columna Posterior con Pared Posterior.....	26
Figura 13. Fractura Transversa más Afectación de Pared Posterior	27
Figura 14. Fractura de Dos Columnas.....	28
Figura 15. AP de Pelvis	31
Figura 16. Radiografía oblicua obturatriz.....	32
Figura 17. Radiografía Oblicua Alar.....	33
Figura 18. Aborsaje Posterior de Kocher-lahgenbeck.....	38
Figura 19. Abordaje Iliinguinal de Judet-Letournel.....	39
Figura 20. Abordaje Iliofemoral Ampliado de Judet-Letournel	40
Figura 21. Técnica de Impresión por FDM	49
Figura 22. Técnica de Impresión por SLA	50
Figura 23. Técnica de Impresión por SLS.....	51
Figura 24. Secuencia de Importación de Imagen DICOM	57
Figura 25. Segmentación	58
Figura 26. Diferencia de Tejido Óseo Unidades Hounsfield.....	59
Figura 27. Diferencias de Segmentación.....	60
Figura 28. Guardado de Formato	61
Figura 29. Planeación Tradicional	64
Figura 30. Planeación con Modelo 3D.....	65

Figura 31. Flujo de Adquisición de Imágenes 65

Figura 32. Segmentación de Imágenes en Software 3D Slicer..... 66

Figura 33. Planeación Prequirúrgica con Modelo 3D 66

Figura 34. Clasificación de Judet y Leournel grupo A..... 77

Figura 35. Clasificación de Judet y Leournel grupo B..... 77

Figura 36. Comparación entre los Grupos A y B..... 78

Figura 37. Exposición a Radiación entre los Grupos A y B..... 79

Figura 38. Sangrado Transquirúrgico entre los Grupos A y B 80



Resumen

Introducción: La impresión 3D es una herramienta perfeccionada a finales del siglo XX, y que tuvo su primera irrupción en la atención médica dentro del campo de la cirugía. consideramos que el implementar el ejercicio de planificación en modelos tridimensionales, en fracturas complejas, conlleva a una mejor comprensión, planificación y ejecución en el tratamiento de las mismas, con un menor índice de complicaciones transoperatorias tanto para el cirujano, como para el paciente.

Objetivo: demostrar, en pacientes con fracturas acetabulares complejas, la ventaja de la planificación preoperatoria en modelos 3D en cuanto al tiempo quirúrgico, sangrado y radiación intraoperatoria con respecto a la planificación preoperatoria bidimensional.

Metodología: Presentamos un estudio transversal, comparativo, aleatorizado, conformado por dos grupos: grupo A con pacientes cuya planificación preoperatoria se hizo bidimensional, y grupo B en los cuáles se realizó una planificación basada en modelo 3D. Se tomó en cuenta como parámetros el tiempo quirúrgico, sangrado y toma de fluoroscopia.

Resultados: Se tuvo una muestra de 28 pacientes, 23 pacientes masculinos; se integraron dos grupos, en el grupo A se incluyeron 18 pacientes, en el grupo B se incluyeron 10 pacientes. Se encontró una ventaja significativa en cuanto a: promedio de tiempo (min), sangrado (ml) así como de la exposición a fluoroscopia (disparos).

Conclusiones: Se encontró una ventaja importante del uso de la impresión 3D en estas fracturas, concordante con lo reportado en cuanto al uso de esta tecnología en cuanto al tratamiento de fracturas periarticulares.

Palabras clave: Planeación 3D, Fracturas de Acetábulo, Impresión 3D.

Abstract

Introduction: 3D printing is a tool perfected at the end of the 20th century, and which first made its appearance in medical care in the field of surgery. We believe that implementing the planning exercise in three-dimensional models, in complex fractures, leads to a better understanding, planning and execution in the treatment of these fractures, with a lower rate of transoperative complications for both the surgeon and the patient.

Objective: to demonstrate, in patients with complex acetabular fractures, the advantage of preoperative planning in 3D models in terms of surgical time, bleeding and intraoperative radiation with respect to two-dimensional preoperative planning.

Methodology: We present a cross-sectional, comparative, randomized study, made up of two groups: group A with patients whose preoperative planning was done in two dimensions, and group B in which planning based on a 3D model was performed. Surgical time, bleeding and fluoroscope recording were considered as parameters.

Results: There was a sample of 28 patients, 23 male patients; Two groups were integrated, in group A 18 patients were included, in group B 10 patients were included. A significant advantage was found in terms of: average time (min), bleeding (ml) as well as exposure to fluoroscope (shots).

Conclusions: A significant advantage was found in the use of 3D printing in these fractures, consistent with what has been reported regarding the use of this technology in the treatment of periarticular fractures. Keywords: 3D planning, Acetabular fractures, 3D printing.

Keywords: 3D Planning, Acetabular Fractures, 3D Printing.

Introducción

Las fracturas acetabulares son difíciles de tratar debido a la complejidad anatomía y acceso quirúrgico involucrado a diferentes sitios de fractura, lo que resulta en una larga curva de aprendizaje. Estas fracturas a menudo son el resultado de un traumatismo de alta energía que provoca múltiples fragmentos metafisarios, pérdida ósea, conminución intraarticular desplazada y lesiones graves de los tejidos blandos, lo que las convierte en una de las fracturas más difíciles de tratar.

El objetivo del tratamiento quirúrgico es la reducción anatómica de los fragmentos articulares se evita el traumatismo adicional de los tejidos blandos. El método quirúrgico convencional requiere completa exposición de la fractura y contorneado de la placa intraoperatoria mente después de realizar la reducción de la fractura, para adaptar la placa de reconstrucción al contorno de reducida anatómica. Esto aumenta la impasividad del procedimiento. que también puede estar asociado con daños innecesarios, hemorragia y aumento del tiempo operatorio, flexión múltiple intentos pueden fatigar el metal disminuyendo la resistencia de implante.

La penetración involuntaria de tornillos en la articulación durante la fijación de fracturas ha sido bien documentada. Las impresoras 3D ahora están ampliamente disponibles y se puede utilizar para producir modelos de tamaño natural basados en NCCT escaneo de un paciente individual utilizando prototipos rápidos (RP) tecnología. La disponibilidad de datos precisos específicos del paciente los modelos de fracturas acetabulares complejas pueden ayudar a la planificación del manejo quirúrgico (abordaje apropiado y maniobras de reducción) reducción de sangrado, tiempo quirúrgico, exposición a radiación y mejorar la comunicación con los pacientes.

Marco Teórico

2.1 Epidemiología

Fracturas de acetábulo ocurren principalmente debido a traumas de gran energía, siendo como accidentes de vía pública, en particular los relacionados con automóviles, la causa más común (Bagaria et al., 2018; Gross et al., 2014; Mishra et al., 2019; Schubert et al., 2014; Xia et al., 2019). Estas lesiones se producen por dos mecanismos principales: impactos con la rodilla flexionada y colisiones laterales que afectan la región trocantérica.

Estudios epidemiológicos indican que estas fracturas son más frecuentes en hombres, con una proporción aproximada de 70:30 a favor del sexo masculino (Schubert et al., 2014; Xia et al., 2019). Sin embargo, algunos análisis han mostrado un aumento significativo en la incidencia en mujeres con el paso del tiempo (Xia et al., 2019).

Las fracturas acetabulares pueden ocurrir entre los 11 y los 90 años⁴, su incidencia es más alta en personas entre los 30 y 40 años (Bugaria et al., 2018; Gupta & Khanchandani, 2002; Mishra et al., 2019; Schubert et al., 2014; Xia et al., 2019). Son extremadamente raras en niños, representando del 2.4 % al 7.5 % de todas las fracturas en menores (Michielsen et al., 2019). Derivado de las diferencias anatómicas entre la pelvis de niños y adultos, la forma en que se lleva el protocolo diagnósticos y terapéuticos no están bien definidos (Sarmiento et al., 1992; Villar et al., 1987).

Es común que las fracturas acetabulares estén acompañadas de otras lesiones, lo que hace necesario un enfoque multidisciplinar. Las fracturas en extremidades y los traumatismos craneoencefálicos son los más frecuentes (Diment et al., 2017; Mishra et al., 2019; Schubert et al., 2014). La mortalidad asociada a estas fracturas es cercana al 3 %, aunque los estudios indican una disminución gracias a los avances en el manejo de pacientes politraumatizados y en las medidas de seguridad vial (Bizzotto et al., 2016).

2.2 Aspectos Anatómicos

Con esta información, Emile Letournel destacó la importancia crucial de comprender en detalle la arquitectura del acetábulo para los cirujanos ortopédicos. A los estudios

realizados por Emile Letournel y Robert Judet, se entiende al acetábulo quirúrgico como una cavidad articular situada entre los brazos de una “Y” invertida, formada por dos columnas óseas principales (Mirai 3D, 2019; Yang et al., 2017) (ver Figura 1).

Figura 1

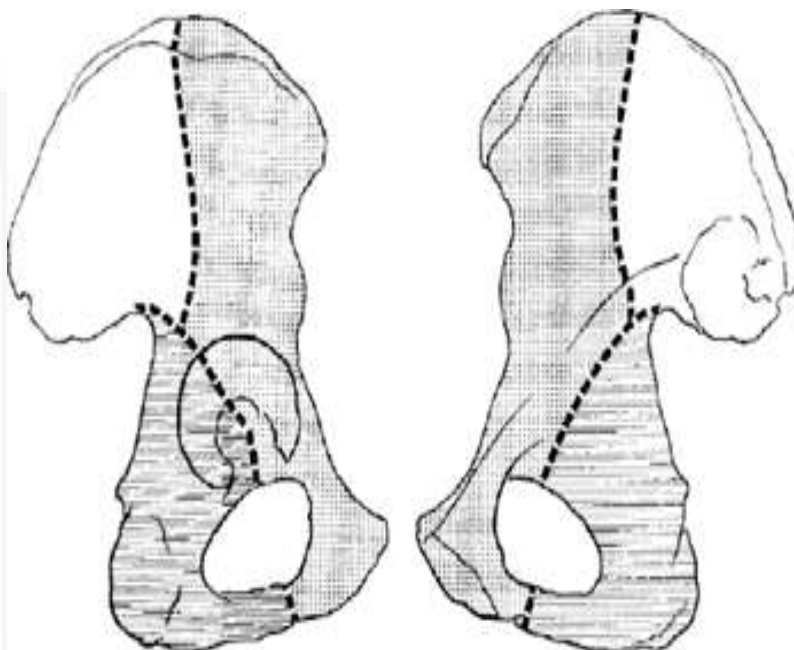
Imagen de Leutournel E, Judet R.



La columna iliopúbica, también conocida como columna anterior, se extiende desde la parte frontal de la cresta ilíaca y sigue un recorrido hacia abajo, adelante y hacia el interior, hasta alcanzar la sínfisis del pubis. Como se puede observar en la Figura 2, esta estructura también integra la pared anterior del acetábulo.

Figura 2

Vista de Imagen Lateral y Medial de Pelvis y el Acetábulo



Por otro lado, la columna ilioisquiática o columna posterior presenta una orientación vertical, caracterizándose por su robustez y composición de hueso denso, lo que la convierte en un excelente soporte para sistemas de osteosíntesis. Esta columna se extiende desde el vértice de la escotadura ciática mayor hasta llegar a la tuberosidad isquiática. En su porción interna, incluye la parte posterior de la lámina cuadrilátera, mientras que externamente abarca la región posteroinferior de la superficie articular.

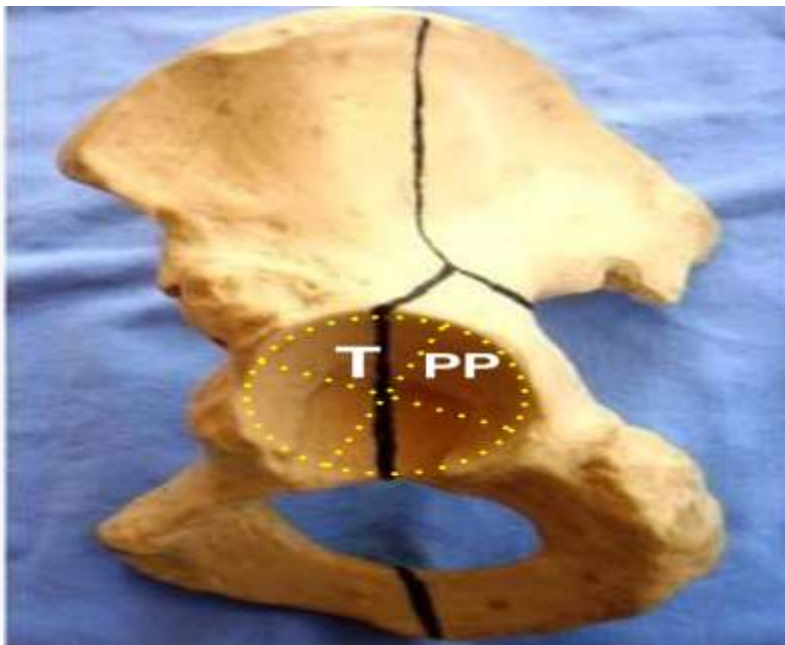
Ambas columnas se unen en un punto situado ligeramente por encima de la mitad de su longitud. El vértice que forman al unirse constituye el techo acetabular, que es considerado la clave estructural del arco.

Un elemento clave en la evaluación prequirúrgica de la anatomía del acetábulo es llevar a cabo una descripción funcional de su estructura. Para ello, como se observa en la

Figura 3, al trazar dos líneas oblicuas a 45° que se intersecan en ángulo recto en el centro de la cavidad articular, es posible diferenciar cuatro regiones específicas (Gross et al., 2014).

Figura 3

Imagen de Zonas Importantes del Acetábulo



Nota. T: techo; PP: pared posterior.

2.2.2 Cuadrantes

Existen dos zonas importantes, el cuadrante superior o techo, que juega un papel crucial en la transmisión de cargas y contribuye a la estabilidad articular. Además, el cuadrante posterior o pared posterior, que proporciona estabilidad, especialmente en flexión

Por otra parte, existen dos zonas bajo riesgo. En primera instancia, el cuadrante inferior o cuernos del cotilo, cuya lesión no afecta significativamente la estabilidad articular. El cuadrante anterior o pared anterior, cuya afectación no genera inestabilidad a menos que sea una lesión de gran magnitud.

Como veremos más adelante, esta descripción funcional es clave para determinar la indicación quirúrgica. Las fracturas que presentan problemas de reducción en las áreas de

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

carga pueden derivar en artrosis postraumática. En cambio, las fracturas localizadas fuera de estas zonas suelen tener un mejor pronóstico (Cohen, 2012; Moher et al., 2009) y, bajo ciertas condiciones, pueden ser manejadas con un tratamiento conservador.

2.3 Mecanismo de Lesión

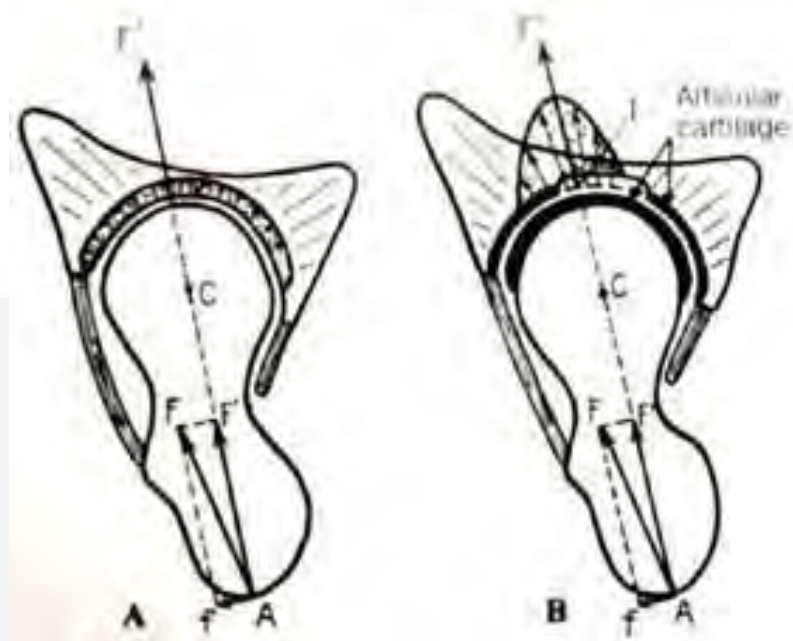
Comúnmente ocurren como resultado de una fuerza que se transmite desde la cabeza del fémur, el último elemento de una cadena de transmisión que puede iniciarse en el trocánter mayor, la rodilla (cuando está flexionada), el pie o la región posterior de la pelvis (Mirai 3D, 2019).

Las fracturas acetabulares ocurren como resultado de una fuerza que se transmite desde la cabeza del fémur, el último elemento de una cadena de transmisión que puede iniciarse en el trocánter mayor, la rodilla (cuando está flexionada), el pie o la región posterior de la pelvis.

El patrón de fractura, el grado de desplazamiento de los fragmentos óseos y la posibilidad de una luxación coxofemoral estarán determinados por el tipo de fuerza que actúe sobre el cotilo (ver Figura 4). Tanto la dirección como la magnitud de dicha fuerza dependen, en el momento del impacto, de la posición del fémur, la localización de la cabeza femoral y el punto e intensidad con los que se aplique la fuerza. Esto permite identificar diversos mecanismos en función de las características del impacto.

Figura 4

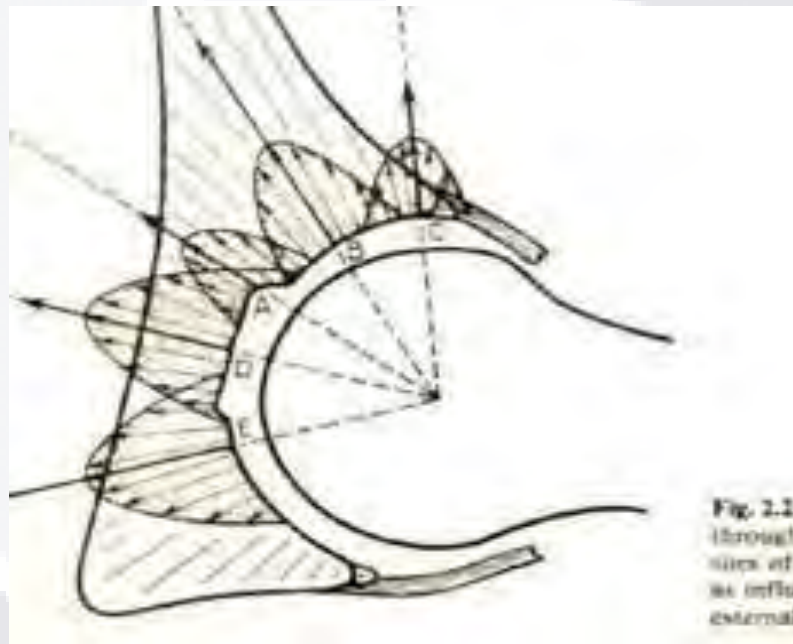
Fuerzas Deformantes



Cuando la fuerza se aplica sobre la cara externa del trocánter mayor, el punto de impacto en el acetábulo dependerá del grado de abducción-aducción y de la rotación del fémur, mientras que la flexión del mismo tiene poca relevancia en estos casos. La fractura estará más localizada hacia la parte anterior si la rotación externa del fémur es mayor. Como se puede observar en la Figura 5, la fractura se localizará más alta si aumenta el grado de aducción del fémur.

Figura 5

Corte Vista Axial de Cadera



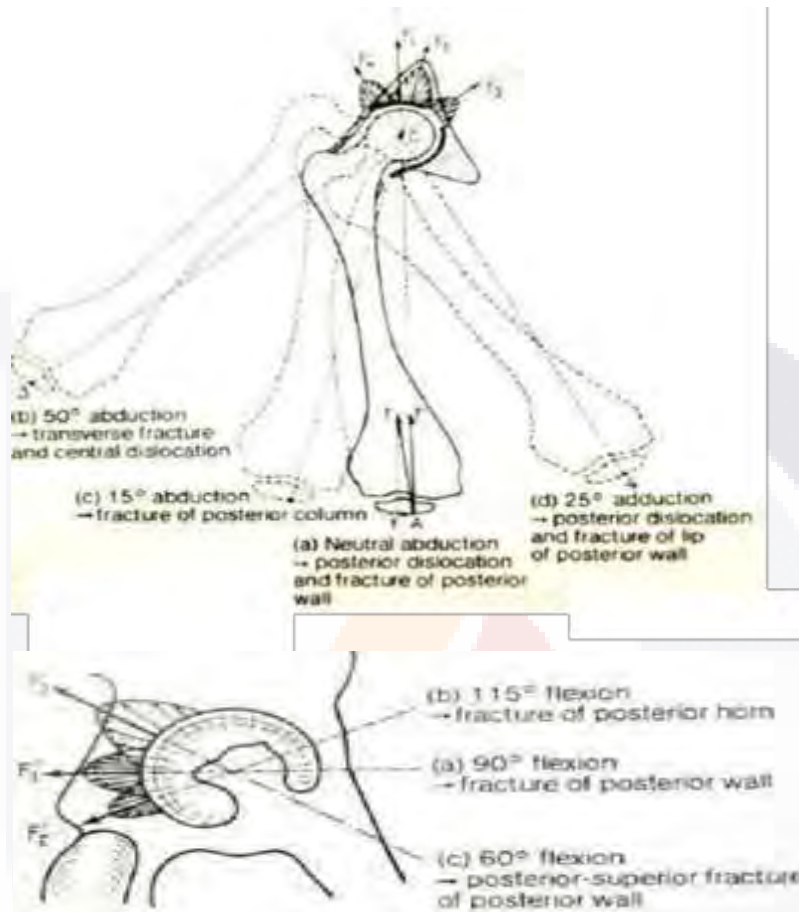
Nota.
Leutournel,
R. (1993).
the
2nd ed.
Verlag.

Tomado de
E., & Judet,
Fractures of
acetabulum
Springer-

Cuando la fuerza se aplica sobre la rodilla flexionada en el eje de la diáfisis femoral, suelen producirse durante choques frontales de automóvil, como impactos contra el salpicadero, y es común que generen lesiones en la región posterior. En este caso, la rotación del fémur no tiene un papel relevante, pero sí lo tienen el grado de flexión y la posición de abducción-aducción del fémur (ver Figura 6).

Figura 6

Áreas de Impacto en Cabeza de Fémur



Nota. Tomado de Leutournel, E., & Judet, R. (1993). *Fractures of the acetabulum* 2nd ed. Springer-Verlag.

A medida que aumenta la flexión, la lesión tiende a desplazarse hacia abajo en la pared posterior del acetábulo.

Las lesiones con las rodillas y pies en extensión pueden manifestarse en dos escenarios diferentes:

- Con la cadera flexionada: Este tipo de lesión es característico de choques frontales en accidentes automovilísticos, donde la fuerza se transmite desde el pedal del freno hacia el pie, pasando por la rodilla extendida y alcanzando finalmente la cabeza femoral. Esto suele generar daños en la región posterosuperior del acetábulo.

- Con la cadera en extensión: Estos casos son típicos de caídas desde altura, donde la fuerza impacta principalmente en el techo del acetábulo.

Además, los golpes dirigidos hacia la región lumbosacra ocurren en caídas hacia atrás mientras se está en una posición en cuclillas, lo que habitualmente ocasiona lesiones en la pared posterior del acetábulo.

2.4 Clasificaciones

Robert J. y E. Letournel enfrentaron grandes desafíos en el manejo quirúrgico de las fracturas del acetábulo en 1950. En aquella época, los abordajes disponibles no resultaban adecuados (Mirai 3D, 2019; Yang et al., 2017). En ese entonces, las fracturas del cotilo se dividían clásicamente en dos categorías: luxaciones centrales de la cadera y luxaciones posteriores acompañadas de fracturas acetabulares. Aunque autores como Cauchoix y Truchet ya habían reconocido la existencia de tipos intermedios de lesiones (Lou et al., 2017), estas clasificaciones eran poco prácticas y no describían de manera adecuada la anatomía y morfología de las fracturas, elementos esenciales para planificar el tratamiento quirúrgico.

En 1961, Rowe y Lowell publicaron en el Journal of Bone and Joint Surgery una clasificación basada principalmente en la afectación del techo acetabular, dividiendo las fracturas en cuatro tipos: 1) fracturas sin desplazamiento; 2) fracturas de la pared anterior; 3) fracturas posteriores; 4) fracturas superiores. No obstante, dicha clasificación, ahora obsoleta, fue objeto de críticas por no incluir la evaluación de la congruencia entre la cabeza femoral y la porción intacta de la superficie articular del acetábulo.

Ese mismo año, Emile Letournel presentó su tesis doctoral (Mirai 3D, 2019; Zheng et al., 2018), donde desarrolló la teoría de las dos columnas acetabulares, sentando las bases para el diagnóstico a través del análisis de tres proyecciones radiográficas: una anteroposterior de pelvis y dos oblicuas a 45° descritas previamente por Judet. En 1964, Letournel publicó los resultados preliminares de su enfoque quirúrgico basado en esta metodología¹⁹. Identificó siete tipos de fracturas, divididas en dos categorías principales:

- Fracturas elementales: Incluían lesiones de la ceja posterior, columna ilioisquiática (posterior), columna iliopúbica (anterior) y fracturas transversas.

- Fracturas complejas: Comprendían fracturas de las dos columnas, transversas con afectación de la pared posterior y fracturas en forma de T.

Con el tiempo, esta clasificación evolucionó hasta convertirse en la que se utiliza actualmente, como se observa en la Tabla 1 (Mirai 3D, 2019; Yang et al., 2017; Zheng et al., 2018). Esta clasificación es conocida por su buena concordancia tanto inter como intraobservador y sirve de base para la mayoría de los estudios y publicaciones sobre resultados quirúrgicos (Yang et al., 2016).

Tabla 1
Clasificación de las Fracturas Acetabulares

Clasificación de las fracturas acetabulares (Letournel)	
Lesiones elementales	Lesiones complejas
Columna anterior	Fracturas en forma de T
Pared anterior	Columna/pared anterior más hemitransversa posterior
Columna POSTERIOR	Transversa más pared columna posterior
Pared posterior	Columna posterior con pared posterior
Transversa	Ambas columnas

Después de esta, surgieron otras clasificaciones, como la desarrollada por el grupo AO (Chen et al., 2019) y la de Tile (Cai et al., 2018) con el objetivo de describir las características de las fracturas con el mayor detalle posible. Sin embargo, la clasificación propuesta por Judet y Letournel continúa siendo la más aceptada y es la que se empleará en este trabajo.

2.5 Clasificación de Judet y Letournel

2.5.1 Fracturas Afectando Pared Posterior

Estas fracturas las que tienen mayor prevalencia cerca de 24% de todas las lesiones acetabulares (ver Figura 7). Suelen comprometer el borde posterior del acetábulo, una parte de la superficie retroacetabular y un segmento variable del cartílago articular, mientras que la mayor parte de la columna posterior permanece intacta. Con frecuencia, estas fracturas están asociadas a una luxación posterior de la cabeza femoral. Se dividen en los siguientes subgrupos:

- Fracturas de pared posterior: afectan las superficies *articulares* posteriores.
- Lesiones posterosuperiores: Estas comprometen la parte superior de la pared posterior y abarcan un fragmento variable de la región posterior del techo acetabular.
- Lesiones posteroinferiores: Involucran la parte inferior de la pared de lado posterior y cuerpo acetabular. Debido a la configuración anatómica del hueso pélvico en esta área, el fragmento desprendido frecuentemente.

Figura 7

Comparación de Estudio Radiográficos



Nota. A: Imagen obtuatriz; B: cortes coronal; C: axial; D: reconstrucción 3D.

2.5.2. *Fracturas con Afectación de Columna Posterior*

En este tipo de lesiones, la línea de fractura presenta su origen en la escotadura ciática mayor, cruza la superficie articular en la unión entre el techo y la pared posterior, y finaliza en el lado opuesto del orificio obturador, a una altura variable en la rama isquiopúbica. Este patrón de fractura provoca que gran parte o incluso la mayoría de la columna posterior se separe del hueso innominado.

2.5.3 *Fracturas que Afectan la Pared Posterior*

Se trata de fracturas poco comunes y generalmente se observan en pacientes de edad avanzada con calidad ósea deficiente, comúnmente como resultado de traumatismos de baja energía. Como se observa en la Figura 8, comprometen la porción anterior de la superficie articular, junto con un fragmento variable del tercio medio de la columna anterior. El desplazamiento es más pronunciado en la parte superior de la fractura, mientras que la rama horizontal del pubis presenta un desplazamiento mínimo. En estos casos, la cabeza femoral tiende a luxarse hacia adelante y hacia adentro, arrastrando el fragmento fracturado en la misma dirección.

Figura 8

Fractura Pared Anterior



Nota. B y C: Radiografía AP y reconstrucción 3D; A: Reducción anatómica; E: seguimiento 3 años.

2.5.4 Fracturas que Afectan Columna Anterior

En este tipo de lesión, una sección de la región anterior del acetábulo se desprende del resto del hueso pélvico. La fractura comienza en la rama isquiopúbica, atraviesa la superficie articular del cotilo y se extiende hacia arriba, alcanzando diferentes niveles del hueso pélvico, incluso llegando al tercio medio de la cresta ilíaca en algunos casos. Según el lugar donde la fractura atraviesa el borde superior de la pelvis, estas lesiones se dividen en distintas categorías (ver Figura 9):

- Fracturas altas: La línea de fractura se extiende hasta la cresta ilíaca, separando un gran fragmento de la columna anterior que incluye la pared anterior y casi todo el techo acetabular.

Figura 9

Modelo de Fracturas de Columna Anterior



Nota. A: intermedio; B y C: alto; D: radiografía anteroposterior de una fractura de este tipo; E y F: axial y sagital del TAC.

2.5.5 Fracturas con Afectaciones Transversas

Estas fracturas se caracterizan por un trazo único que cruza el cotilo de manera anteroposterior, afectando ambas columnas (ver Figura 10). Encontramos el acetábulo en dos secciones principales: una superior, que incluye el ilion y el techo acetabular, y otra inferior, compuesta por el isquion y el pubis. Generalmente, la porción inferior con desplazamiento hacia la línea media, presentando diferentes grados de movimiento traslacional o rotacional.

Figura 10

Fractura Transversa



Nota. A: diferentes tipo de fractura; B y C: radiografías AP y obturatriz de fractura transversa; D y E: corte coronal y reconstrucción 3D; F: reducción anatómica; G: control.

La clasificación de estas fracturas depende de su interacción con el techo acetabular (ver Figura 11):

- Fracturas transtectales: El trazo atraviesa el techo del acetábulo, lo que suele dar lugar a un peor pronóstico debido a que afecta la región principal para la transmisión de cargas al esqueleto axial.
- Fracturas yuxtatectales: La fractura corta las paredes anterior y posterior, atravesando la fosa cotiloidea en el límite inferior del techo.
- Fracturas infratectales: Dividen horizontalmente la fosa cotiloidea, afectando la parte inferior de las paredes acetabulares.

Figura 11

Esquema Fractura Transversa



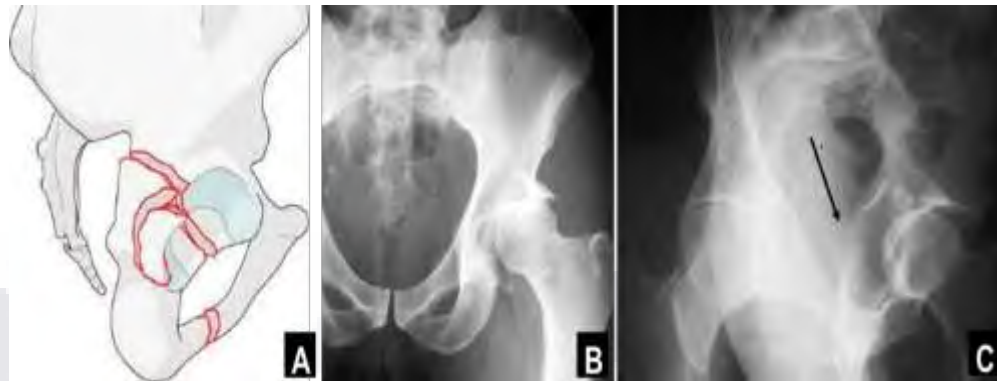
Nota. A: Trazo inferior podemos; B y D: fractura en T; E y F: control.

2.5.6 Fracturas Complejas

- **Fracturas en T:** Estas fracturas, poco frecuentes, combinan una fractura transversa con un trazo inferior que atraviesa el anillo obturador, fracturando al hueso a distintos niveles. Pueden presentar un componente asociado de fractura en la pared posterior. Según la dirección del trazo inferior.
- **Fracturas que afectan la columna posterior más pared posterior:** En este tipo de lesión, se combinan dos patrones de fractura elementales: una afectación de la columna posterior y otra de la pared posterior (ver Figura 12). Por lo general, la fractura de la columna posterior muestra un desplazamiento mínimo, mientras que el componente de la pared posterior suele ser más evidente en los estudios radiológicos, lo que lleva a concluir que, en la mayoría de los casos, la lesión comienza en la pared posterior.

Figura 12

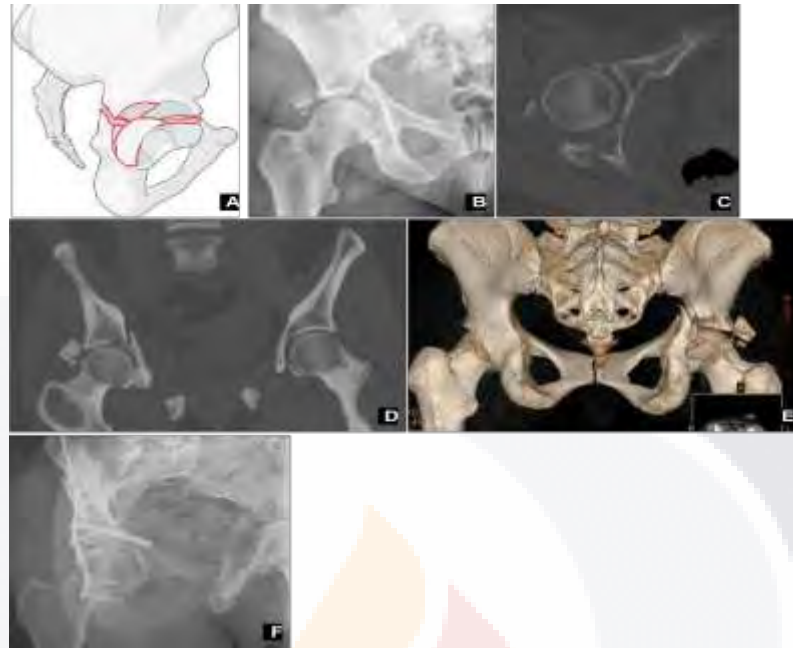
Fractura de Columna Posterior con Pared Posterior



- **Fracturas transversas con afectación de pared posterior:** Estas fracturas complejas representan el segundo patrón más común, solo superado por las fracturas que involucran ambas columnas. Como se observa en la Figura 13 este tipo de lesión combina una fractura transversal con más fragmentos desprendidos de la pared posterior. Estas fracturas se clasifican en dos subgrupos principales:
 - Primero: Cuando el desplazamiento de la pared posterior es mucho más pronunciado que el del componente transversal, lo que favorece una luxación posterior.
 - Segundo: Cuando el fragmento transversal es el más desplazado, lo que con mayor frecuencia provoca una luxación central de la cabeza femoral.

Figura 13

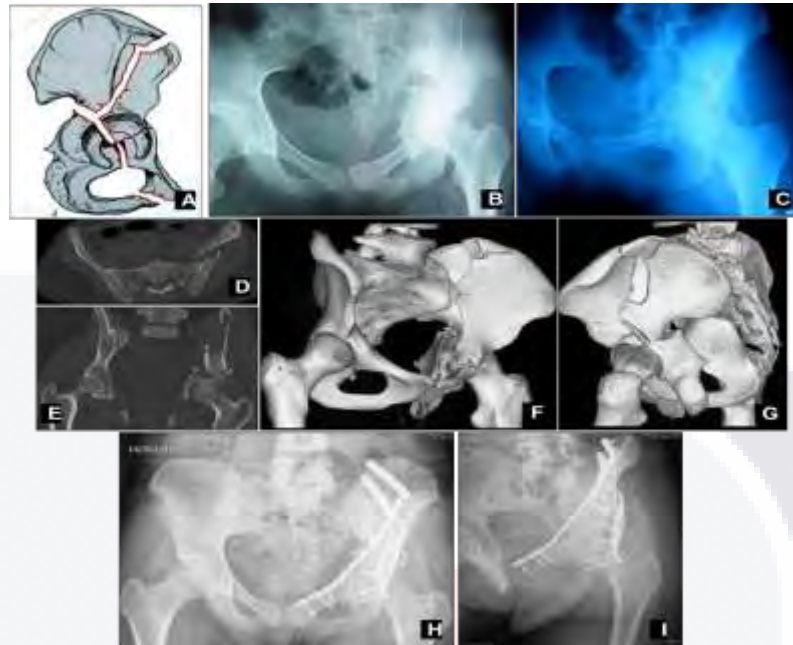
Fractura Transversa más Afectación de Pared Posterior



- **Fracturas que afectan a la columna anterior más afectación hemitransversa posterior:** En este tipo de fracturas, se combinan un trazo que afecta la columna anterior con otro que corresponde a la mitad posterior de fractura trasversa (ver Figura 14). Por lo general, la cabeza femoral presenta una subluxación hacia el centro. Las variaciones en este patrón dependen del punto donde finaliza el trazo de la columna anterior, que puede llegar hasta la cresta ilíaca o detenerse debajo de la espina ilíaca anteroinferior. La diferencia clave entre estas fracturas y aquellas que afectan ambas columnas, radica en que una parte de la superficie articular y de la pared posterior permanece adherida al ala ilíaca.

Figura 14

Fractura de Dos Columnas



Nota. A-E: fractura de dos columnas.

2.6 Diagnóstico

2.6.1 Clínica

La clínica más común de una fractura acetabular generalmente se da en un paciente politraumatizado que ha sufrido un traumatismo de alta energía. Este paciente es trasladado al Servicio de Urgencias Hospitalarias presentando los siguientes síntomas:

- Discapacidad funcional.
- Dolor a la presencia de movilización.
- Deformidad y acortamiento del miembro inferior, en caso de desplazamiento.

2.6.1.1 Prioridades iniciales en el manejo del paciente. Al igual que en todos los casos de politraumatismo, las prioridades iniciales incluyen:

- Evaluación y estabilización de la vía aérea, respiración y circulación.

- Valoración secundaria completa. Esta valoración secundaria es esencial, ya que las fracturas acetabulares suelen asociarse con lesiones en:
 - El anillo pélvico.
 - Extremidades (en especial el miembro inferior).
 - Columna vertebral.
 - Lesiones de traumatismo craneoencefálico (TCE) y viscerales, que pueden agravar el pronóstico vital del paciente.

2.6.1.2 Examen físico detallado. Es crucial realizar un examen completo, que incluya un examen de la región en zona trocantérica:

- Contusiones y dermoabrasiones en esta área con afectación sobre la cresta ilíaca pueden indicar la presencia de una lesión de Morel-Lavallée.
- Esta lesión se caracteriza por un hematoma extenso acompañado de necrosis grasa entre la piel y el tejido celular subcutáneo. Aunque es una lesión cerrada, tiene un alto riesgo de contaminación bacteriana secundaria y requiere desbridamiento y drenaje antes de la cirugía definitiva.
- Exámenes rectales y vaginales:
 - Son necesarios para descartar fracturas abiertas.
 - Hematuria, aunque común en los pacientes politraumatizados sin fractura pélvica, debe evaluarse cuidadosamente.

2.6.1.3 Luxación coxofemoral asociada. La luxación coxofemoral asociada se presenta como una emergencia en ortopedia.

- Requiere reducción inmediata.
- Si persiste la inestabilidad tras la reducción, se colocará una tracción transesquelética en el fémur o en la tibia proximal para estabilizar la articulación.

Este enfoque integral de diagnóstico y tratamiento es crucial para mejorar el pronóstico del paciente y abordar las posibles complicaciones asociadas con las fracturas acetabulares.

2.6.2 Imágenes

El análisis radiográfico adecuado para evaluar una fractura acetabular fue protocolizado por Judet y Letournel y consta de cuatro proyecciones que deben ser tomadas correctamente para evitar proporcionar información errónea. Estas proyecciones permiten evaluar la anatomía ósea y detectar posibles fracturas o lesiones asociadas.

2.6.2.1 Radiografía anteroposterior de pelvis.

- Es esencial en todo paciente politraumatizado.
- Su función principal es descartar lesiones asociadas del anillo pélvico.
- Proporciona información clave sobre la integridad de la pelvis y permite identificar fracturas que puedan comprometer la estabilidad del anillo pélvico.
- También es útil para valorar la relación entre la cabeza femoral y el acetábulo, y para verificar posibles desplazamientos o fracturas del cotilo.

Es importante que la radiografía anteroposterior sea realizada con precisión, ya que una incorrecta alineación o rotación del paciente podría alterar la interpretación de la imagen, llevando a una valoración inadecuada de la fractura y sus posibles implicaciones (ver Figura 15).

Figura 15
AP de Pelvis



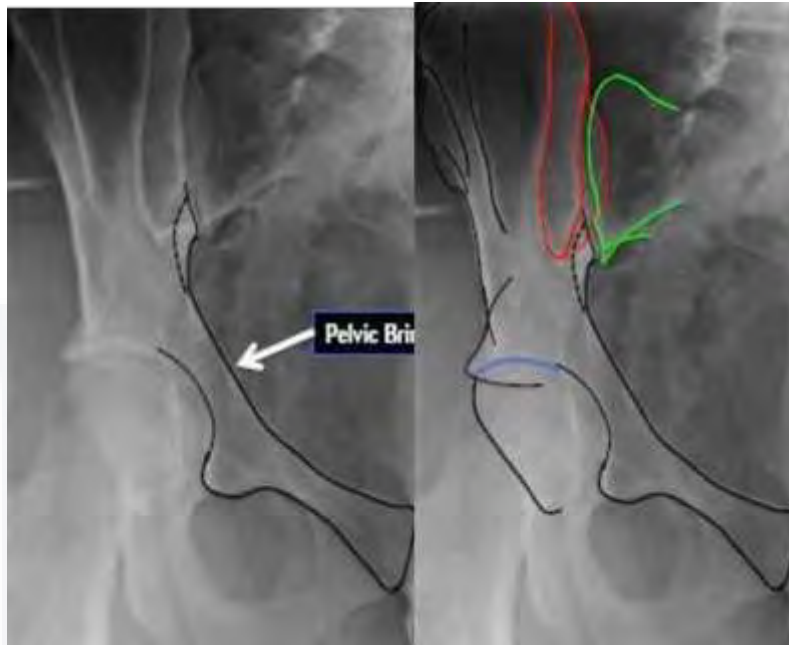
2.6.2.2 Radiografía oblicua obturatriz. Se realiza con el paciente en decúbito lateral oblicuo a 45°, apoyado sobre el lado sano, de forma que el lado patológico quede elevado. Esta proyección es esencial para evaluar las siguientes estructuras:

- **Columna anterior:** Permite observar la integridad de la columna iliopúbica y el borde anterior del acetábulo.
- **Pared posterior:** Ayuda a valorar la columna ilioisquiática y el ángulo de la pared posterior del acetábulo.
- **Agujero obturador:** Proporciona una visión detallada del agujero obturador, crucial para identificar posibles fracturas en la región del pubis y la ramificación del hueso pélvico.

Esta proyección es crucial para detectar fracturas en las zonas mencionadas, que son vitales para la planificación quirúrgica de las fracturas acetabulares. La correcta realización de esta radiografía es fundamental para no perder detalles importantes de la anatomía ósea en estas áreas (figura 16).

Figura 16

Radiografía oblicua obturatriz



2.6.3 Radiografía Oblicua Alar

Se obtiene colocando al paciente en decúbito lateral sobre el lado patológico, de forma que el lado sano quede hacia arriba. Esta proyección tiene el propósito de estudiar de manera detallada las siguientes estructuras:

- Columna posterior: Permite observar la columna ilioisquiática y la parte posterior del acetábulo, vital para identificar fracturas en esta área.
- Pared anterior: Evalúa la columna iliopúbica y el borde anterior del acetábulo, lo cual es importante para detectar fracturas en la zona anterior del cotilo.
- Superficie de la lámina cuadrilátera: Ayuda a evaluar la integridad de la lámina cuadrilátera, que forma una parte esencial de la estructura acetabular.
- Cresta y ala iliaca: Permite valorar la cresta iliaca y su integridad, ya que las fracturas en estas áreas pueden afectar la estabilidad general del acetábulo.

Como se observa en la Figura 17, esta proyección es fundamental para obtener una visión más clara de las fracturas en las zonas mencionadas, ayudando en la planificación del tratamiento quirúrgico y en la evaluación de lesiones asociadas.

Figura 17

Radiografía Oblicua Alar



2.6.4 Tomografía Computarizada

Desde 1982, la Tomografía Computarizada (TC) se ha convertido en una herramienta esencial para la evaluación detallada de las fracturas acetabulares, aportando información crucial para la planificación quirúrgica.

2.6.3.1 Características de la TC en Fracturas Acetabulares.

- Cortes axiales:

Los cortes axiales deben ser de intervalos finos para garantizar una evaluación precisa:

- 10 mm a nivel de la pala acetabular (parte superior de la pelvis).
- 2-3 mm a nivel del cotilo (zona más crítica del acetábulo). Es importante incluir toda la pelvis en los cortes para evitar omitir detalles de la fractura y facilitar la comparación con el lado no afectado.

- Utilidad diagnóstica: La TC resulta invaluable para:

- Medición de la conminución y escalón articular: Permite identificar cómo se ha fragmentado el acetábulo y la alineación de la superficie articular.
- Impactación marginal: Identifica áreas del acetábulo donde los fragmentos óseos han sido desplazados y comprimidos.

- Tamaño y número de fragmentos de la pared posterior: Crucial para determinar la complejidad de las fracturas y su abordaje quirúrgico.
- Rotación y desplazamiento de las columnas acetabulares: La TC ayuda a determinar la magnitud y dirección del desplazamiento, lo cual es clave para la reducción quirúrgica.
- Fragmentos intraarticulares o fracturas de la cabeza femoral: Identifica cualquier fragmento que pueda comprometer la articulación de la cadera.
- Lesiones asociadas: Detecta alteraciones en la articulación sacroilíaca o fracturas del sacro, que pueden ocurrir concomitantemente con fracturas acetabulares.

Los cortes coronales y sagitales son esenciales para evaluar el desplazamiento medial de la cabeza femoral y para analizar tanto la región tectal como la zona de carga. Algunos especialistas argumentan que estas imágenes constituyen la herramienta más adecuada para valorar, en el postoperatorio, la calidad de la reducción conseguida.

La reconstrucción tridimensional, aunque inicialmente reservada para casos de fracturas complejas, se ha vuelto cada vez más común debido al amplio acceso a esta tecnología en la mayoría de los hospitales. Esta técnica permite al cirujano comprender de manera integral la configuración de la fractura gracias a la posibilidad de rotar las imágenes, ofrecer una visión completa de la superficie articular mediante la tomografía de sustracción de la cabeza femoral y, más recientemente, reducir el uso de intensificadores y la necesidad de disección quirúrgica a través de la cirugía asistida por TC. Sin embargo, cabe señalar que la TC 3D puede subestimar los desplazamientos, llegando a omitir escalones de hasta 3 mm.

Por último, aunque estudios recientes destacan la mayor precisión de la TC en el diagnóstico y su uso exclusivo puede resultar atractivo, esta herramienta no debe reemplazar, sino complementar, la información proporcionada por las proyecciones radiológicas tradicionales.

2.6.5 Resonancia Magnética Nuclear

La Resonancia Magnética (RM) es utilizada por algunos autores como una herramienta complementaria para detectar lesiones subclínicas del nervio ciático y para identificar fracturas de la cabeza femoral que pueden no ser visibles en la Tomografía Computarizada (TC) convencional. Sin embargo, aunque la RM ofrece ventajas en estos aspectos, tiene algunas limitaciones.

2.7 Tratamiento

La congruencia entre la cabeza femoral y el acetábulo es esencial para evitar el desarrollo de coxartrosis precoz, la cual puede generar resultados funcionales pobres a largo plazo. Se ha demostrado que un desplazamiento residual superior a 2 milímetros en la fractura de acetábulo conduce a esta condición.

Debido a que una reducción anatómicamente y estabilidad son fundamentales para restaurar la congruencia articular. La cirugía permite una rehabilitación precoz, lo cual es clave para evitar complicaciones a largo plazo.

2.7.1 Tratamiento Ortopédico

2.7.1.1 Fracturas subsidiarias de tratamiento ortopédico.

- Fracturas no desplazadas o con desplazamiento mínimo: Cuando las fracturas atraviesan la zona de carga, pero presentan un desplazamiento inferior a 2 milímetros, pueden tratarse mediante descarga de peso o tracción transesquelética durante un periodo de 4 a 8 semanas. La elección del tratamiento dependerá de las características específicas de cada fractura.
- Congruencia articular secundaria en fracturas desplazadas de ambas columna: Descrito por Letournel, este concepto ocurre cuando las fracturas en ambas columnas giran en torno a la cabeza femoral, conservando una relación congruente con esta, incluso si se produce una luxación medial de la cabeza o si existe un espacio entre los fragmentos de la fractura. Aunque esta situación puede

dar lugar a buenos resultados, la distribución de cargas en el cotilo podría verse alterada.

- Fracturas pared posterior con afectación menor al 19%: La estabilidad de la cadera en este tipo de fracturas se evalúa comparando con el lado sano mediante cortes axiales de TC. Se considera estable si la afectación de la pared posterior es inferior al 20%. Si la afectación supera el 40%, la fractura se clasifica como inestable. Para lesiones que afectan entre el 20% y el 40%, es necesario realizar una evaluación clínica más exhaustiva.
- Contraindicaciones médicas para la cirugía: En casos de problemas médicos significativos que contraindiquen la cirugía, el tratamiento ortopédico es la opción más adecuada.
- Tejidos blandos: Si existe infección o heridas locales que impiden una intervención quirúrgica, el tratamiento ortopédico puede ser la única opción.
- Osteoporosis severa: En casos de osteoporosis severa, la fijación interna rígida y estable no es posible, lo que hace que el tratamiento ortopédico sea más adecuado en este tipo de pacientes. Generalmente hasta el tercer mes. Este enfoque permite que el hueso cicatrice sin sobrecargar la fractura, promoviendo una recuperación controlada y segura (ver Tabla 2).

Tabla 2

Fracturas Subsidiarias de Tratamiento Quirúrgico

Fracturas subsidiarias de tratamiento ortopédico
Fracturas de desplazamiento $\leq$ milímetros
Fracturas con zona de carga de techo libre
Fracturas con dos columnas con congruencia articular
Fracturas de pared posterior con afectación $<20\%$

2.7.2 Tratamiento Quirúrgico

2.7.2.1 Indicaciones. El tratamiento quirúrgico está indicado principalmente para fracturas desplazadas o inestables que no pueden ser corregidas mediante tratamiento conservador. Las indicaciones incluyen:

- Fracturas que presentan desplazamiento mayor de 2 mm: Este tipo de desplazamiento es más común en la zona de techo acetabular, como en las fracturas transversales altas o fracturas en "T". Un desplazamiento mayor de 2 milímetros puede comprometer la congruencia articular y aumentar el riesgo de coxartrosis precoz, lo que justifica la necesidad de intervención quirúrgica.
- Fracturas con afectación de pared posterior de la cadera: Un compromiso de la pared posterior superior al 20% o la presencia de subluxación de la cabeza femoral en cualquiera de las tres proyecciones radiográficas estándar indica una afectación significativa. Esta inestabilidad puede afectar la función y estabilidad de la cadera, requiriendo intervención quirúrgica para restaurar la congruencia articular.
- Fracturas de dos columnas: Se presenta en fracturas que afectan tanto a la columna anterior como a la posterior, pero sin que ambas mantengan congruencia articular. Estas fracturas pueden producir inestabilidad coxofemoral, lo que requiere una cirugía para restaurar la anatomía y prevenir complicaciones a largo plazo.
- Fragmentos dentro de la articulación: Fragmentos pequeños avulsionados junto al ligamento redondo que no afectan la congruencia articular no suelen extirparse.

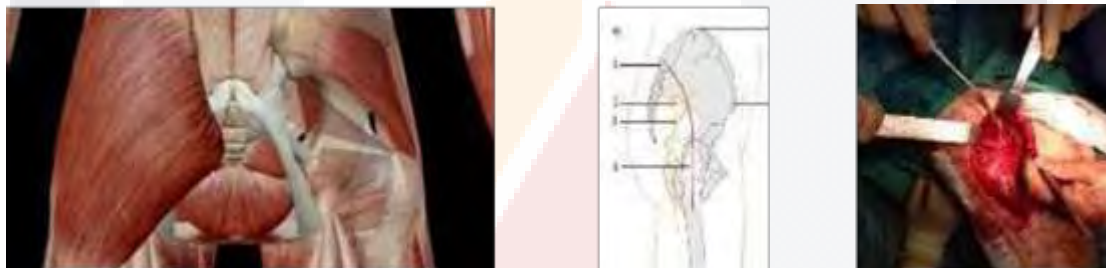
2.7.2.2 Vías de abordaje. La elección de la vía de abordaje depende en gran parte de la experiencia del cirujano y de las características de la fractura. La vía elegida debe permitir un acceso adecuado al foco de fractura para una reducción anatómica y una fijación estable. Algunos factores que influyen en la selección del abordaje quirúrgico incluyen: estructura de fractura; condición de tejidos blandos; evolución; complicaciones; edad de paciente y sus metas funcionales.

2.7.2.2.1 Vía Posterior de Kocher-Langenbeck. Este abordaje permite el acceso a la superficie retroacetabular del hueso coxal, extendiéndose desde el isquion hasta la escotadura ciática mayor. Facilita la exposición de la lámina cuadrilátera por

las escotaduras ciáticas mayor y menor, lo que resulta útil en la reducción de fracturas que comprometen tanto esta superficie como la columna anterior. Además, la escotadura ciática mayor puede utilizarse como punto de entrada para colocar pinzas de reducción y manipular los fragmentos óseos. Sin embargo, el eje neurovascular glúteo superior representa una limitación para acceder a la parte superior del ala ilíaca, lo que puede dificultar el trabajo en estas áreas más elevadas. Este enfoque es muy utilizado, pero se debe tener en cuenta que cada caso puede requerir una evaluación individualizada para escoger la vía de abordaje más adecuada (ver Figura 18).

Figura 18

Abordaje Posterior de Kocher-lahgenbeck



2.7.2.2.2 Vía Ilioungual de Judet-Letournel. La vía ilioinguinal es un abordaje quirúrgico anterior que proporciona un acceso excelente a varias estructuras anatómicas del acetábulo y la pelvis. Es especialmente útil para fracturas que comprometen principalmente la columna anterior o el ala ilíaca (ver Figura 19).

Proporciona mejor visión en Ala ilíaca, Cara vista anterior, Columna vista anterior, Sínfisis del pubis.

Este abordaje es ideal para fracturas del ala ilíaca, fracturas de la columna anterior del acetábulo y fracturas con la afectación de la cara del ala ilíaca y de la sínfisis púbica.

Requiere una comprensión precisa de las estructuras neurovasculares que atraviesan esta región, como los nervios femorocutáneo y femoral, así como los vasos ilíacos. Aunque proporciona una excelente exposición anatómica, es una

técnica exigente desde el punto de vista quirúrgico, lo que hace que sea necesaria experiencia y práctica para minimizar las complicaciones.

Figura 19

Abordaje Ilioguinal de Judet-Letournel



2.7.2.2.3 Abordaje Iliofemoral Ampliado de Judet-Letournel. El abordaje iliofemoral ampliado es una técnica quirúrgica que permite un acceso amplio y versátil al acetábulo, utilizada para tratar fracturas complejas que involucran tanto la columna anterior como la columna posterior. Este abordaje sigue un plano internervioso, lo que ayuda a minimizar el riesgo de daño neurológico (ver Figura 20).

En el plano Intervenoso la musculatura se refleja en dos direcciones: 1) Anteriormente, donde los músculos son inervados por el nervio femoral; 2) Posterior, donde los músculos con inervados por los nervios del glúteo superior e inferior.

Las áreas de exposición se encuentran en la cara vista externa del hueso ilíaco, la columna región posterior hasta el nivel del isquion y la articulación coxofemoral. Se usa comúnmente para el tratamiento de fracturas acetabulares complejas que afectan ambas columnas y fracturas combinadas con daño articular importante.

Se debe tomar en cuenta que es un abordaje amplio que requiere cuidado especial para preservar la integridad de los tejidos blandos y los vasos sanguíneos La adecuada movilización y manejo de los músculos glúteos es clave para prevenir

complicaciones relacionadas con el suministro vascular.

Figura 20

Abordaje Iliofemoral Ampliado de Judet-Letournel



2.7.2.2.4 Doble vía de abordaje: ilioinguinal y posterior de Kocher-Langenbeck. Este enfoque se emplea en fracturas que afectan ambas columnas, especialmente cuando existe una importante conminución que impide la reducción y estabilización adecuada de la fractura mediante una sola vía de acceso.

2.7.2.2.5 Vía de Stoppa. Aunque menos empleada, esta técnica proporciona acceso a la columna anterior, la lámina cuadrilátera y parte de la columna posterior. Puede combinarse con otros abordajes, como la ventana iliaca o el abordaje posterior de Kocher, para ampliar la exposición quirúrgica. En comparación con el abordaje ilioinguinal tradicional, la vía de Stoppa es menos invasiva y tiene la ventaja de preservar la integridad del nervio femorocutáneo.

La decisión sobre la vía quirúrgica se basa principalmente en el tipo de fractura, buscando minimizar complicaciones derivadas de exposiciones mayores. A continuación, se presentan pautas generales para seleccionar el abordaje más adecuado.

-Fracturas que afectan pared posterior con o sin columna posterior: Se recomienda el abordaje de Kocher-Langenbeck.

-Fracturas que afectan la pared interior con o sin afección de la columna anterior: Se opta por el abordaje ilioinguinal.

- Fracturas con trazo transversal: Por lo general, el abordaje de Kocher-Langenbeck es el más utilizado; sin embargo, en fracturas asociadas a la pared posterior o con trazos transtectales, puede requerirse un abordaje más amplio como el iliofemoral o el abordaje posterior de Kocher combinado con una osteotomía del trocánter mayor.
- Fractura en forma T: Si el desplazamiento es predominante posterior o hay una fractura asociada de la pared posterior, se utiliza la vía Kocher-Langenbeck. En ciertos casos, puede ser necesario preparar al paciente con abordaje combinado.

2.7.3 El Postquirúrgico

En el periodo postoperatorio, se utilizan drenajes de aspiración cerrada junto con antibióticos profilácticos durante un lapso de 48 a 72 horas. Para los pacientes en quienes no exista contraindicación, se recomienda la profilaxis antitrombótica mediante heparina de bajo peso molecular o warfarina, hasta que puedan movilizarse activamente fuera de la cama. Aunque existe cierta discusión sobre la duración ideal de este tratamiento, la mayoría de las publicaciones sugieren mantenerlo durante 3 a 4 semanas.

Para prevenir la formación de osificaciones heterotópicas, especialmente en abordajes con mayor riesgo, como el iliofemoral y el de Kocher, o en casos de amplia exposición de la tabla externa del ala ilíaca, así como en pacientes con lesiones cerebrales o abdominales asociadas, se ha propuesto el uso de indometacina (75 mg al día durante seis semanas) o radioterapia a dosis bajas. No obstante, el empleo de estas medidas sigue siendo objeto de debate.

En general, la tracción transesquelética no se considera necesaria tras una fractura del acetábulo, aunque puede ser útil en situaciones particulares, como osteoporosis severa, cuando se planifique una segunda intervención quirúrgica o en fracturas que hayan evolucionado por más de tres semanas.

2.7.3.1 Movilización y rehabilitación. Se sugiere iniciar la movilización temprana y la sedestación dentro de las primeras 24 a 48 horas después de la cirugía. Tras la retirada de los drenajes, usualmente al tercer día, se permite al paciente comenzar con apoyo sin carga en el miembro afectado, acompañado de ejercicios para rehabilitación y

fortalecimiento muscular. Este enfoque se mantiene durante un periodo de seis a ocho semanas.

En el control programado al tercer mes, dependiendo de los signos radiográficos de curación, se implementará un plan progresivo para aumentar la carga sobre el miembro intervenido, avanzando gradualmente hasta alcanzar la carga completa, siempre y cuando el paciente la tolere.

2.7.3.2 Complicaciones asociadas.

2.7.3.2.1 Afectación de nervio ciático. Este tipo de lesión ocurre con mayor frecuencia tras el uso de un abordaje posterior, siendo la rama del nervio ciático poplíteo externo la más vulnerable. La monitorización intraoperatoria puede alertar de la existencia de tensión en el nervio, lo que permite tomar medidas para reducir la incidencia de daños iatrogénicos permanentes. Sin embargo, cirujanos experimentados han reportado tasas de incidencia del 2% sin monitorización, comparables a las obtenidas con esta técnica. Por ello, su uso puede ser particularmente útil en cirujanos con menor experiencia en este tipo de procedimientos.

2.7.3.2.2 Infecciones. La presencia de infecciones oscila entre el 2% y el 5% según las series publicadas más amplias. Factores como las lesiones en tejidos blandos, como la lesión de Morel-Lavallée, incrementan el riesgo de infección. Dependiendo del abordaje quirúrgico, las infecciones pueden ser extraarticulares o intraarticulares:

- Infecciones extraarticulares: Son más frecuentes tras el abordaje ilioinguinal, donde la reducción de la fractura se realiza mediante métodos indirectos.

- Infecciones intraarticulares: Tienen un pronóstico más grave, ya que pueden destruir la superficie articular, comprometiendo la funcionalidad a largo plazo.

2.7.3.2.3 Mortalidad. Según Letournel, la tasa de mortalidad durante la hospitalización es del 2,28.

2.7.3.3 Complicaciones presentación tardía

2.7.3.3.1 **Osificaciones heterotópicas.** Estudios han reportado incidencias de hasta un 80% tras fracturas tratadas mediante abordajes posteriores. Factores asociados a su aparición incluyen:

- Hombre.
- Abordajes amplios o con osteotomía de trocánter.
- Lesione extensa en el cartílago articular.
- Fracturas en T.
- En la clínica, la movilidad de la cadera se ve afectada de manera importante en aproximadamente el 5% de los casos. Tratamientos como la indometacina y la radioterapia a bajas dosis han demostrado eficacia para reducir su incidencia.

2.7.3.3.2 **Artrosis de articulación postraumática.** Es la complicación que se observa con mayor frecuencia. En seguimientos mayores a cinco años, su incidencia radiológica varía entre el 15% y el 45%. La calidad de la reducción quirúrgica es el factor determinante para su desarrollo:

- Matta reporta una incidencia del 16% en reducciones anatómicas frente al 45% en reducciones no anatómicas.
- Letournel describe un 10% de incidencia en reducciones perfectas y un 36% en reducciones imperfectas.
- Esto resalta la importancia de lograr una congruencia articular óptima para mejorar el pronóstico funcional y articular a largo plazo.

2.7.3.3.3 **Necrosis avascular.** Es más frecuente en fracturas asociadas con luxación posterior, con una incidencia del 12% según Letournel. La necrosis avascular suele ser evidente radiográficamente dentro de los dos años posteriores a la lesión. Las causas incluyen:

- Daño vascular directo por el traumatismo inicial.
- Desperiostización excesiva, ya que el aporte vascular proviene principalmente de la cápsula posterior de la cadera.

2.7.3.3.4 **Presencia de pseudoartrosis.** Es una complicación poco común, con una incidencia del 0,7% según Letournel. La pseudoartrosis se define como la falta de consolidación de la fractura tras más de cuatro meses de tratamiento quirúrgico.

Está asociada con:

- Fracturas transversas.
- Osteosíntesis inestables.

2.8 Impresión 3D

La impresión 3D abarca una variedad de procesos destinados a construir estructuras complejas en los tres planos del espacio mediante la adición de materiales simples. Este enfoque tridimensional es lo que la distingue de la impresión tradicional en dos dimensiones. Bajo esta definición se incluyen métodos como la construcción por bloques, aunque hoy en día la impresión 3D se asocia generalmente a un proceso más sofisticado: una máquina automatiza la fabricación aditiva a partir de un diseño CAD (diseño asistido por computadora).

Gracias a la reducción de costos en algunas tecnologías de fabricación aditiva, el acceso a la impresión 3D se ha extendido más allá del ámbito profesional, fomentando la creación de una comunidad "maker". Esto ha impulsado su popularización y permitido su uso doméstico, incluso entre personas sin conocimientos técnicos avanzados. Entre las técnicas más conocidas y económicas para fabricar piezas destaca la extrusión de filamento fundido (FFF).

2.9 Historia de la Impresión 3D

Aunque parece una tecnología reciente, la impresión 3D tiene más de 25 años de historia. Inicialmente, su uso estaba limitado a aplicaciones industriales especializadas, principalmente para prototipos y herramientas. Esta etapa sirvió para validar y perfeccionar la tecnología de manera gradual.

El primer hito importante fue el lanzamiento en 1988 de la impresora SLA-250,

desarrollada por 3D Systems, una empresa fundada por Chuck Hull en 1986. Hull, pionero en esta tecnología, patentó el proceso de estereolitografía en 1984, que se basa en la creación de objetos capa por capa utilizando un material sensible a los rayos UV. Además, la empresa introdujo el formato STL, que se convirtió en el estándar para la impresión 3D.

En paralelo, otros inventores desarrollaron técnicas de fabricación aditiva. En 1988, Scott y Lisa Crump crearon Stratasys y desarrollaron el proceso FDM (modelado por deposición fundida), patentado en 1989. Este método permitió la creación de impresoras que aplicaban material fundido capa por capa mediante un cabezal móvil.

En 1993, el MIT introdujo el proceso 3DP, similar al de las impresoras 2D de inyección de tinta. Este método utiliza un pegamento bajo una capa de polvo para formar los objetos. La compañía Z Corporation adquirió los derechos exclusivos de esta tecnología en 1995 y comenzó a desarrollar impresoras enfocadas al sector industrial.

El año 1996 marcó un punto de inflexión con el lanzamiento de tres modelos clave: la Genisys (Stratasys), la Actua 2100 (3D Systems) y la Z402 (Z Corporation). Por primera vez se empleó la denominación "impresoras 3D", que comenzó a popularizarse. En 2005, Z Corporation presentó la Spectrum Z510, capaz de fabricar objetos en color.

Entre 1996 y 2006, las impresoras 3D evolucionaron significativamente, aumentando su aplicación en el prototipado rápido y la producción en pequeña escala, aunque seguían limitadas al ámbito industrial. Posteriormente, surgió la idea de hacer esta tecnología accesible al público general.

En 2007, empresas como Shapeways y Sculpteo democratizaron la impresión 3D mediante servicios en línea dirigidos a particulares. Paralelamente, el proyecto RepRap, liderado por Adrian Bowyer, introdujo la primera impresora autorreplicante basada en FDM. Este modelo, lanzado en 2007, era completamente de código abierto, lo que permitió a entusiastas replicarla y mejorarla (ver Tabla 3).

Tabla 3

Hitos de la Historia de la Impresión 3D

Hitos de la historia de la impresión 3D

- 1952:** Kojima demuestra las ventajas de la fabricación por capas superpuestas.
 - 1967:** Swainson registra una patente en Estados Unidos para un sistema de endurecimiento de resina por láser de doble haz.
 - 1981:** Kodama publica tres métodos de solidificación holográfica.
 - 1982:** Chuck Hull lleva a cabo investigaciones a propósito de la estereolitografía
 - 1984:** Chuck Hull registra la patente 4575330 de utilización de la estereolitografía.
 - 1986:** Creación de 3D Systems. Otros actores entran en juego.
 - 1987:** El prototipado rápido se convierte en una realidad comercial.
 - 1989:** Lanzamiento de Stratasys y de sus primeras impresiones FDM.
 - 1990:** La fabricación aditiva de utiliza para la elaboración de moldes.
 - 1995:** Z Corporation lanza las primeras impresoras 3D
 - 1996:** Primeras alusiones a máquinas industriales como “impresoras 3D”.
 - 2000:** La fabricación aditiva se emplea para elaborar piezas de producción.
 - 2007:** Creación de Shapeways en los Países Bajos.
 - 2009:** Creación de MakerBot y lanzamiento de MakeBot Cupckae CNC. Lanzamiento de Sculpteo de Francia.
 - 2011:** Se vende 15,000 impresoras 3D (alrededor de 40 modelos disponibles).
 - 2012:** Se vende 45,000 nuevas máquinas.
-

El mercado de la impresión 3D ha crecido exponencialmente en los últimos años, marcando una etapa de transición histórica. En 2012, Stratasys se fusionó con Objet, consolidándose como líder mundial en el sector con un valor de 1,4 mil millones de

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

dólares. Las ventas de impresoras personales también han aumentado, pasando de 355 unidades en 2008 a más de 23.000 en 2011.

2.10 Cómo Hacer Diseño de Modelos Anatómicos Técnicas de Impresión 3D

La impresión 3D utiliza diferentes tecnologías para la creación de objetos tridimensionales. Estas técnicas varían principalmente en cómo construyen las capas que componen el modelo final (ver Tabla 4).



Tabla 4

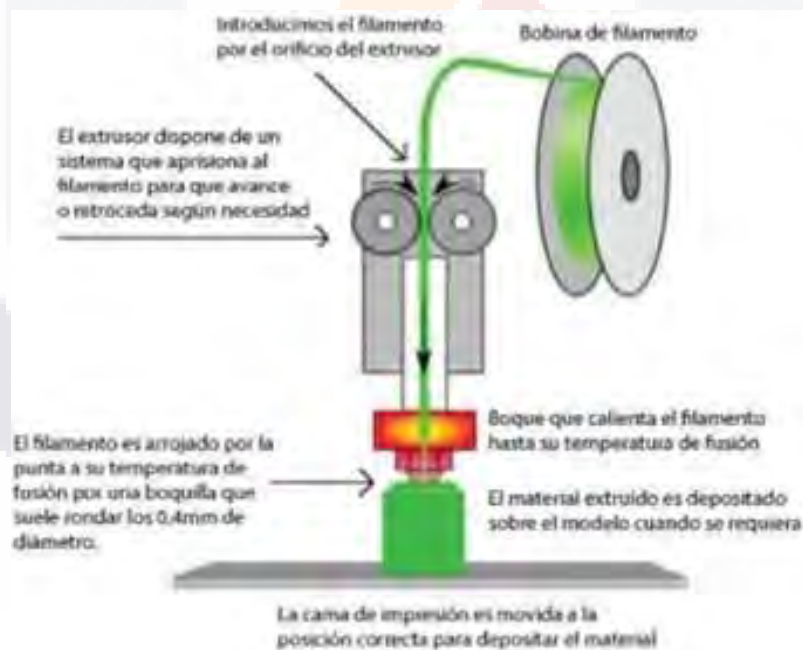
Método de Impresión Empleados en Impresión 3D en Medicina

Tecnología de impresión	Descripción	Resolución en los 3 ejes (mm)	Superficie del modelo	Ventajas	Desventajas
Extrusión de material FDM	Los termoplásticos derretidos son extruidos a través de una boquilla sobre una plataforma	Z: 0.1-0.5 X/Y: 0.1-0.4	Muy rugosa	- Bajo coste - Materiales resistentes - Los modelos pueden ser impresos con varios materiales, lo que hace posible obtener un modelo con colores y características físicas diferentes (más flexible o más rígido)	- Producción lenta - Baja resolución espacial en comparación con otras técnicas - Los modelos pueden ser permeables a líquidos debido a imperfecciones en la adhesión de las capas.
Inyección de material (MJ)	Las gotas de un fotopolímero líquido (epóxido o acrílico) se inyectan sobre una bandeja y se polimerizan y solidifican mediante exposición a la luz ultravioleta.	Z: 0.3 X/Y: 0.05	Ligeramente rugosa	- Versátil para modelos anatómicos: pueden contener diferentes materiales con colores y propiedades variadas. - Disponibles materiales biocompatibles a corto plazo, útiles para guías y herramientas quirúrgicas	- Alto coste - Proceso lento
SLA (estereolitografía)	El fotopolímero contenido en una cubeta se polimeriza mediante un láser UV por iluminación de la superficie superior o inferior del líquido.	Z: 0.02-0.20 X/Y: 0.075-0.2	Lisa	- Ideal para modelos vasculares huecos (las porciones huecas se pueden imprimir sin material de soporte dependiendo de la orientación) - Materiales biocompatibles disponibles	- Difícil retirada de los soportes - Solo se admite un tipo de material para cada modelo
PBD: SLS (Sinterización selectiva por láser)	Polvo de plástico, metal, cerámica o hierba se sinteriza mediante un láser de alta potencia	Z: 0.1-0.20 X/Y: 0.075-0.2	Rugosa	- Los materiales incluyen metales implantables (ej.: titanio, cobalto-cromo) o polímeros sintéticos (ej.: nailon) - No se requieren soportes	- Alto coste - Los modelos necesitan un procesamiento posterior muy mecanizado (como el pulido)

- Impresión por (MJM): este método consiste en inyectar un fotopolímero líquido a través de un cabezal que incluye una fuente de luz UV. Esta luz endurece el material al momento de ser depositado sobre un soporte, generalmente de cera.
- Modelado Fused Deposition Modelling (FDM): en este proceso, un termoplástico en forma de filamento (normalmente con un diámetro de 1,75 a 3 mm) se funde a altas temperaturas y se deposita a través de un extrusor. Una vez que el material entra en contacto con la capa anterior, se enfría y endurece rápidamente. El FDM es la técnica de impresión 3D más popular entre el público general, ya que es el método empleado por la mayoría de las impresoras de escritorio (ver Figura 21).

Figura 21

Técnica de Impresión por FDM

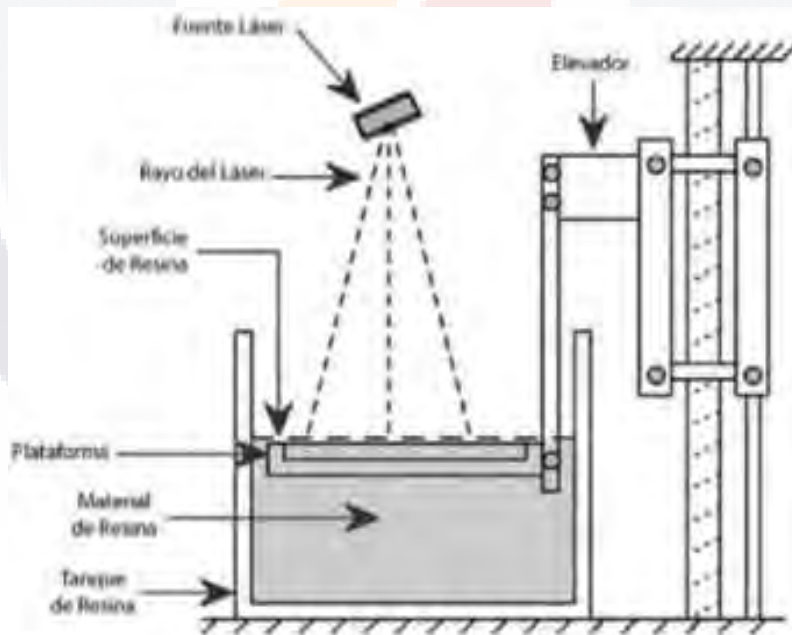


- Fotopolimerización: esta tecnología, una de las más antiguas en impresión 3D, se basa en endurecer un fotopolímero líquido con exposición de luz. El material se solidifica capa por capa mientras la plataforma se desplaza gradualmente hacia abajo.

- Estereolitografía (SLA): este método utiliza luz UV para polimerizar resinas plásticas. Un láser traza el diseño capa por capa en la superficie del líquido, endureciendo solo las áreas expuestas a la luz. Luego, la plataforma desciende para que una nueva capa de resina líquida cubra el área solidificada, y el proceso se repite hasta completar el objeto. Después de la impresión, la pieza se somete a un baño químico para eliminar el exceso de resina y se cura en un horno UV. Es necesario usar estructuras de soporte para evitar deformaciones durante la impresión, las cuales deben retirarse manualmente tras el proceso (ver Figura 22).
- Fusión de lecho de polvo o Powder Bed Fusion (PBF): esta técnica implica depositar finas capas de polvo del material deseado, las cuales son fundidas mediante una fuente de energía térmica según el diseño programado. Entre los métodos que emplean esta tecnología destaca la sinterización selectiva por láser (SLS).

Figura 22

Técnica de Impresión por SLA

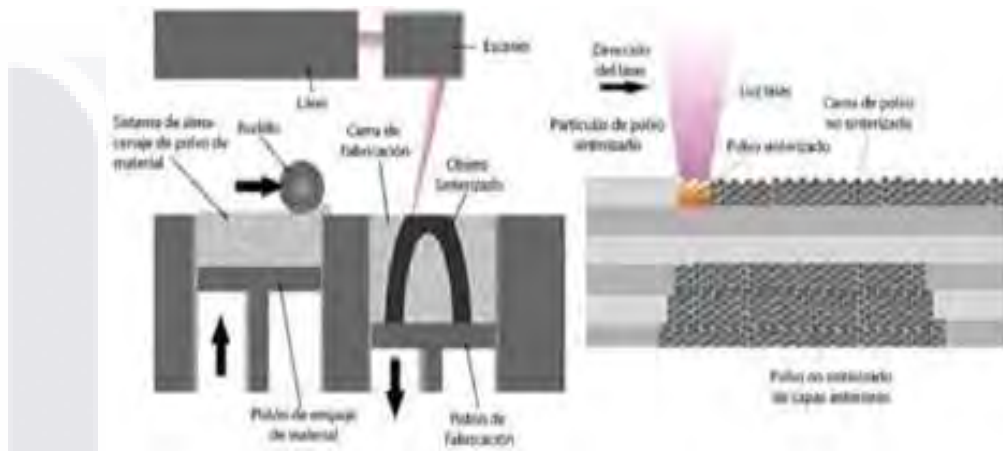


- Sinterización selectiva por láser (SLS): este método es compatible con una amplia gama de materiales, como polímeros de nailon, poliestireno y metales. Este método es ideal para fabricar piezas funcionales y duraderas, con aplicaciones en industrias

como la aeroespacial, automotriz y médica. En el ámbito médico, se utiliza para crear herramientas quirúrgicas, modelos de práctica y partes óseas para implantes (ver Figura 23).

Figura 23

Técnica de Impresión por SLS



2.11 Materiales para Impresiones

Las características y aplicaciones de los objetos impresos en 3D dependen en gran medida del material empleado, que a su vez está influenciado por la tecnología de impresión utilizada. Como se muestra los materiales más comunes en la impresión 3D (ver Tabla 5):

- **Ácido poliláctico (PLA).** Posee características notables, como resistencia a la humedad, a las grasas y a la luz ultravioleta, además de ser ignífugo y generar bajos niveles de humo. Puede adaptarse para ser rígido o flexible, y su versatilidad lo convierte en un recurso clave en la industria médica, donde se emplea en la fabricación de implantes biodegradables, suturas y dispositivos para la liberación controlada de medicamentos.
- **Resinas fotopoliméricas:** Estas resinas son sensibles a la luz y se emplean en tecnologías como SLA y MJM. Las propiedades físicas y mecánicas varían según la formulación específica de cada fabricante, permitiendo aplicaciones diversificadas.
- **Polvo de titanio:** Muy mecanizable, con excelentes propiedades mecánicas, y utilizado en prototipos, implantes y prótesis. **Cromo-cobalto (CoCr):** Material duro y con acabados

de alta calidad, comúnmente utilizado en moldes para utillaje y en implantes ortopédicos y dentales.

Tabla 5
Material más Empleado

Tipo	Tecnologías	Materiales
Extrusión	Modelado por disposición fundida (FMD)	Termoplásticos (por ejemplo, PLA, ABS), HDPE. Metales eutécticos, materiales comestibles
Hilado	Fabricación por haz de electrones (EBF3)	Casi cualquier aleación
Granulado	Sintetizado directo de metal por láser (DMLS)	Casi cualquier aleación
	Fusión por haz de electrones (EBM)	Aleaciones de titanio
	Sintetizado por selectivo por calor (SHS)	Polvo termoplástico
	Sintetizado selectivo por láser (SLS)	Termoplásticos, polvos metálicos, polvos cerámicos
	Proyección aglutinante (DSPC)	Yeso
Laminado	Laminado de capas (LOM)	Papel, aluminio, capa de plástico
Fotoquímicos	Estereolitografía (SLA)	Fotopolímero
	Fotopolimerización por luz ultravioleta (SGC)	Fotopolímero

2.12 Proceso de Impresión

La impresión 3D médica implica la planeación de modelos anatómicos a partir de imágenes DICOM. Pero la impresión 3D requieren que estas imágenes sean convertidas a formatos como STL o AMF, los cuales representan las superficies del modelo en facetas triangulares interconectadas.

2.12.1 Como Obtener las Imágenes

- Obtener imágenes: Los modelos 3D se generan a partir de imágenes volumétricas con suficiente contraste para diferenciar tejidos. El TAC es la técnica de preferencia debido a su amplio rango de aplicaciones, alta resolución y facilidad de procesamiento. Idealmente, las imágenes deben reconstruirse con vóxeles isotrópicos ($<1,25$ mm) para preservar la precisión del modelo.
- Postprocesamiento de imágenes: Consiste en procesar y segmentar imágenes DICOM para crear un modelo digital en formato STL.
 - Segmentación: Identifica regiones de interés (ROI) específicas mediante umbrales, detección de bordes o técnicas automatizadas.
 - Refinamiento: Se corrigen errores como agujeros en las facetas triangulares o superficies invertidas, asegurando que el modelo sea anatómicamente preciso.
 - Diseño: El modelo se ajusta manualmente en software CAD para agregar detalles como soportes o realizar modificaciones específicas.
- Impresión 3D: El modelo se imprime capa por capa, utilizando la tecnología adecuada para el material seleccionado.
- Postprocesado: Una vez impreso, el objeto requiere ajustes adicionales según la tecnología empleada:
 - Extrusión (ABS): Retirar soportes y tratar con vapor de acetona para mejorar la unión de las capas.
 - Fotopolimerización: Retirar soportes y curar con luz o calor para endurecer la pieza.
 - SLA: Pulir superficies y realizar calentamientos para fusionar elementos y eliminar aglutinantes.

Este proceso asegura que los modelos impresos en 3D sean precisos y funcionales para aplicaciones médicas, como planificación quirúrgica, diseño de implantes y modelos educativos.

2.13 Software: 3D Slicer

Como se ha señalado, el uso de software especializado en el postprocesamiento es crucial para la impresión 3D, ya que las impresoras necesitan un modelo digital preciso para replicar. Entre los programas CAD más utilizados para procesar imágenes destacan 3D Slicer, OsiriX, MeshMixer y Blender.

Las aplicaciones de procesamiento 3D son compatibles con el formato estándar para almacenar imágenes médicas, DICOM, lo que permite la interoperabilidad.

En términos generales, 3D Slicer es una herramienta versátil que admite diversas tareas relacionadas con el análisis cualitativo y cuantitativo de imágenes médicas multimodales, ya sean obtenidas directamente de equipos de imagen o del PACS clínico.

A diferencia de otras herramientas similares, 3D Slicer es de código abierto, lo que facilita su personalización, ampliación y redistribución. Además, está diseñado para desarrollar nuevas funcionalidades mediante extensiones, lo que lo convierte en una solución flexible para necesidades específicas.

En entornos de investigación clínica, las herramientas de análisis de imágenes deben cumplir ciertos requisitos, como la compatibilidad con el estándar DICOM, que permite la comunicación de datos y facilita su uso incluso para operadores sin experiencia técnica. 3D Slicer permite cargar imágenes DICOM tanto desde unidades de almacenamiento como directamente desde el PACS.

Los softwares de imágenes dentro de 3D Slicer se implementan como módulos de procesamiento, lo que permite realizar tareas tanto de manera interactiva como por lotes, siendo especialmente útil en casos donde es necesario procesar grandes volúmenes de datos o ajustar parámetros de algoritmos.

Entre sus módulos centrales, destacan el módulo "DICOM" para la compatibilidad con este formato, el módulo "Representación de volumen" para visualizar imágenes tridimensionales, y el módulo "Transformaciones" para realizar ajustes espaciales manuales durante el registro de imágenes. Otros módulos disponibles incluyen:

- Filtrado: Utilizado para mejorar la calidad de las imágenes o resaltar características específicas.
- Segmentación: Permite dividir el conjunto de datos en subregiones individuales

según ciertas propiedades. El apartado de editar ofrece una variedad de herramientas para realizar segmentaciones tanto manuales como semiautomáticas.

- Modelos de superficie: Utilizados para generar representaciones tridimensionales basadas en datos segmentados.
- Difusión: Facilita el análisis de imágenes relacionadas con estudios de difusión, como las obtenidas mediante imágenes por resonancia magnética (IRM).
- Terapia guiada por imágenes: Herramientas diseñadas para asistir en procedimientos clínicos y quirúrgicos guiados por imágenes.

Esta gama de módulos está en constante crecimiento, con actualizaciones y mejoras provenientes de versiones anteriores del software y con nuevas funcionalidades desarrolladas gracias a las contribuciones de la comunidad.

2.14 Impresión 3D en Medicina

2.14.1 Modelos Anatómicos

Además, la impresión 3D permite fabricar simuladores de técnicas médicas como intubaciones orotraqueales, suturas, endoscopias e intervenciones quirúrgicas. Estos simuladores son una alternativa económica y sostenible al uso de cadáveres en la enseñanza de asignaturas como anatomía (Moher et al., 2009).

2.14.1 Aplicaciones en Especialidades Médicas

Diversas especialidades han adoptado los modelos anatómicos 3D. Las siguientes son algunas de las áreas y procedimientos más destacados:

- Neurocirugía: Representaciones de la base del cráneo, deformidades craneovertebrales y escoliosis vertebral han facilitado abordajes más precisos. También se han desarrollado catéteres específicos para reparar aneurismas.
- Cirugía vascular: Modelos 3D han sido útiles para representar placas calcificadas, aneurismas y variantes anatómicas, algunos de los cuales se han esterilizado para ser utilizados como guías intraoperatorias.

- Cirugía cardíaca: Un caso reciente documenta el uso de un modelo 3D en el tratamiento de un divertículo de Kommerell, ayudando en la planificación y ejecución quirúrgica (Cohen et al., 2012).

2.14.2 La Impresión 3D en Cirugía de Cadera

La cirugía de pelvis y cadera representa un desafío particular debido a la complejidad anatómica de esta región. Por esta razón, la impresión 3D ha sido especialmente valiosa en este campo, ya que permite preparar al cirujano para intervenciones complejas. La comprensión anatómica de la pelvis mediante imágenes tradicionales es limitada, especialmente en fracturas acetabulares, cuya clasificación es difícil no solo por la estructura ósea, sino también por las estructuras neurovasculares y viscerales adyacentes. Además, las variaciones anatómicas y patrones de fractura dificultan el diseño de una solución universal, lo que hace que los modelos 3D personalizados sean cruciales para clasificar fracturas y planificar osteosíntesis adaptadas a cada paciente.

El empleo de herramientas de planificación virtual computarizada ha demostrado ser altamente efectivo para analizar y comprender los patrones de fractura en fracturas acetabulares (Zheng et al., 2018). Los modelos tridimensionales impresos se han aplicado en la planificación preoperatoria, el diseño de guías quirúrgicas y la fabricación de implantes personalizados. Por ejemplo, Upex y colaboradores describieron una técnica quirúrgica para abordar fracturas de ambas columnas acetabulares mediante el uso de placas preconformadas en modelos 3D, logrando una reducción significativa en los tiempos quirúrgicos y de instrumentación (Zheng et al., 2018).

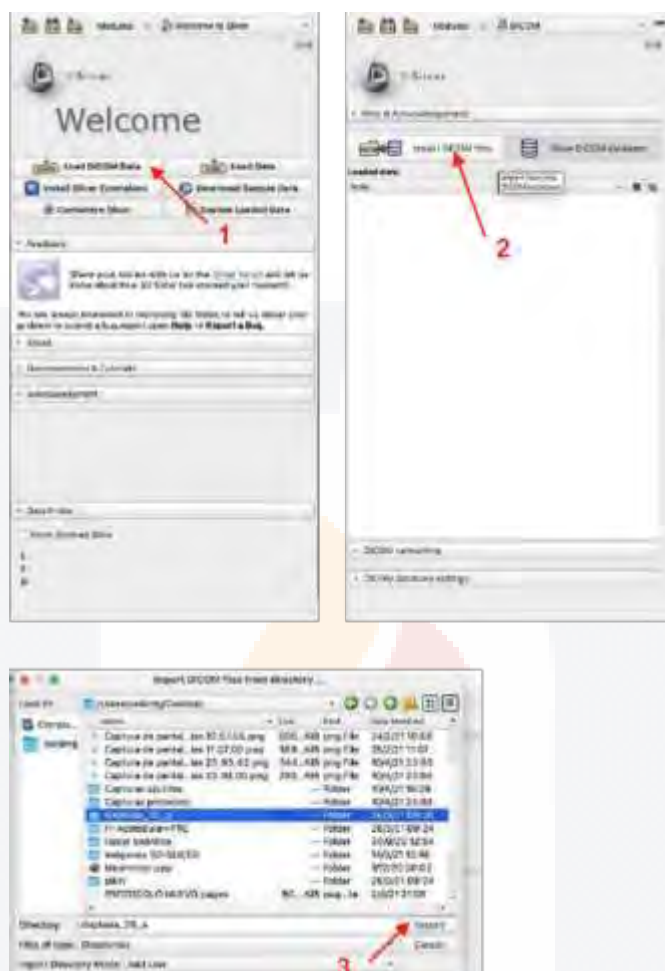
Otros estudios han destacado que los modelos 3D impresos son útiles para comprender patrones de fractura complicados, reducir la variabilidad entre observadores al clasificar fracturas (Zheng et al., 2018), mejorar la docencia y desarrollar plantillas quirúrgicas personalizadas (Cai et al., 2018; Chen et al., 2019; Dresing, 2011). Además, las placas de osteosíntesis pueden preformarse en los modelos impresos, y se puede calcular la longitud de los tornillos antes de la cirugía.

2.15 Pasos para Diseño de Modelo Anatómico

Paso 1: Inicia el programa 3D Slices y carga en formato DICOM (ver Figura 24).

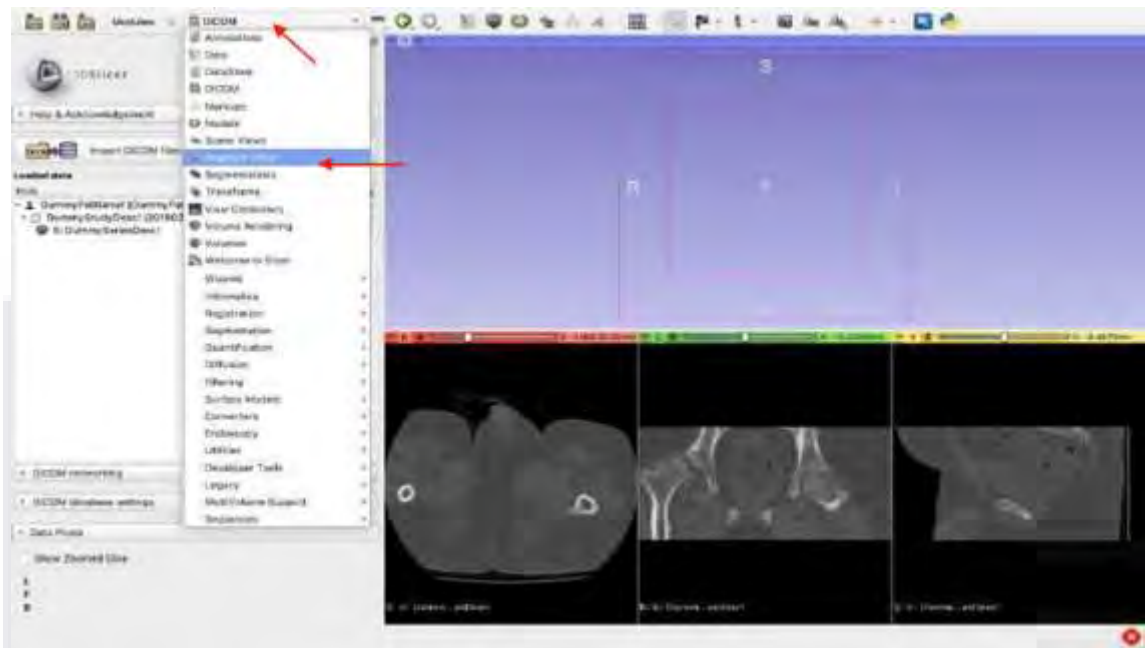
Figura 24
Secuencia de
Imagen DICOM

Importación de



Paso 2: A continuación, el estudio seleccionado se imagen. Luego, selecciona el módulo "Segment Editor", observando diferentes herramientas (ver Figura 25).

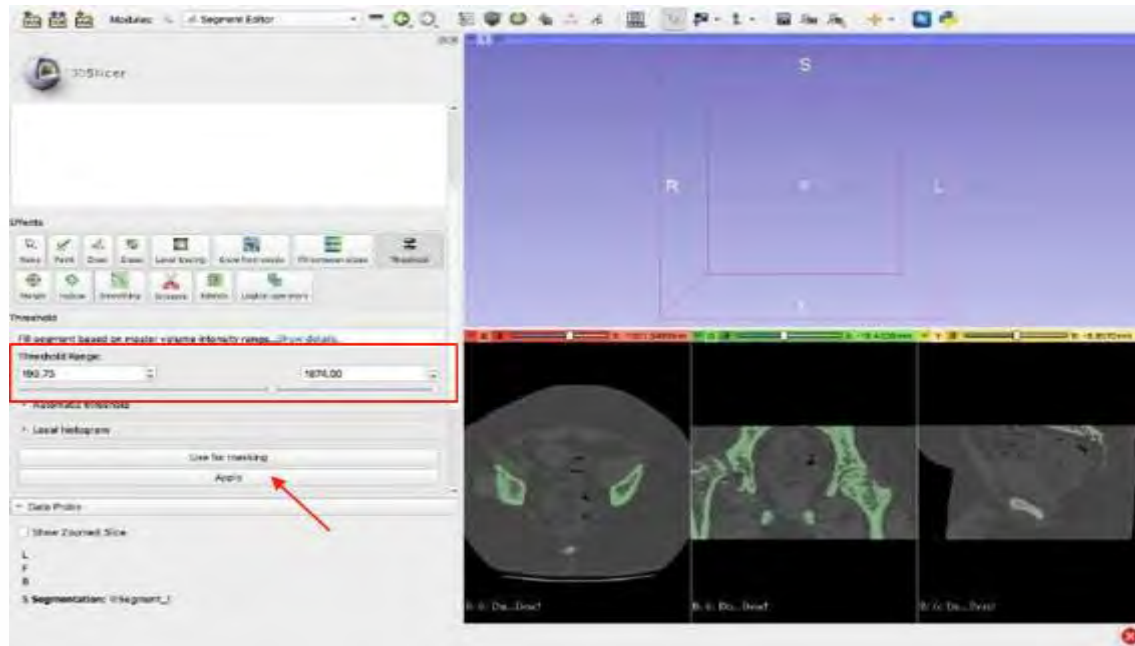
Figura 25
Segmentación



Paso 3: Crea un nuevo segmento presionando el botón "Add". Luego, utiliza la herramienta "Threshold" para ajustar el rango de unidades Hounsfield que deseas seleccionar. En este caso, para distinguir el tejido óseo de los demás tejidos, establece un rango aproximado entre 200 y 1874.00 unidades Hounsfield. (ver Figura 26).

Figura 26

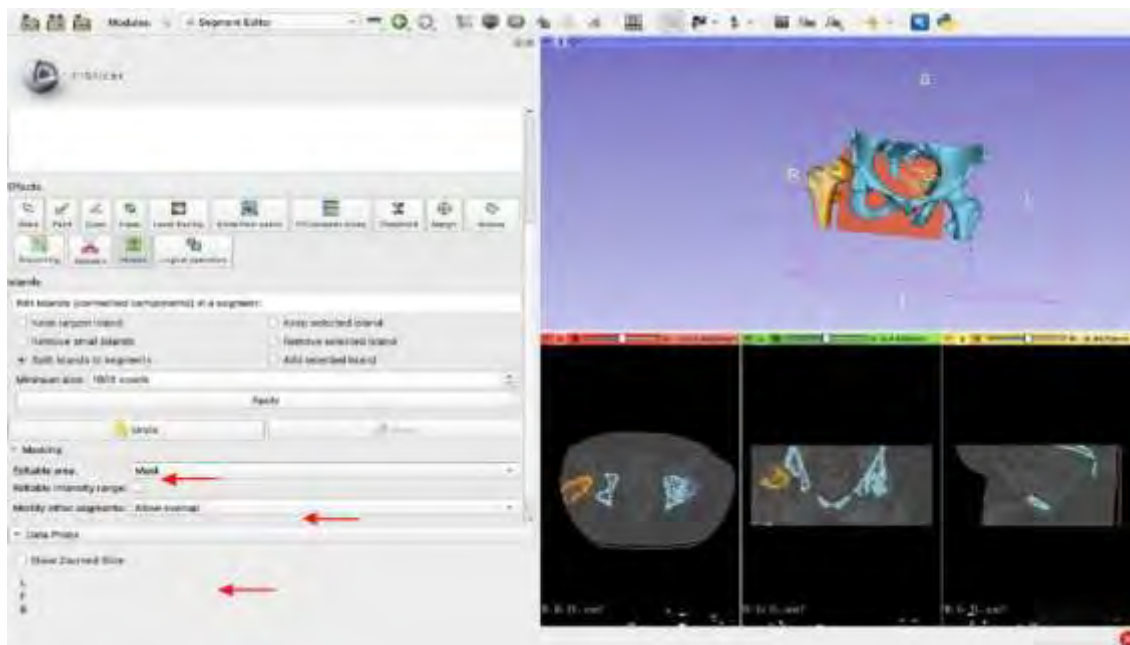
Diferencia de Tejido Óseo Unidades Hounsfield



Paso 4: Posteriormente, se crean los segmentos para diferenciar las distintas partes del modelo. Trabaja sobre la capa "Bones" y utiliza la herramienta "Islands", seleccionando la opción "Split Islands to Segments". El programa generará automáticamente capas en diferentes colores para representar las estructuras independientes que ha identificado (ver Figura 27).

Figura 27

Diferencias de Segmentación

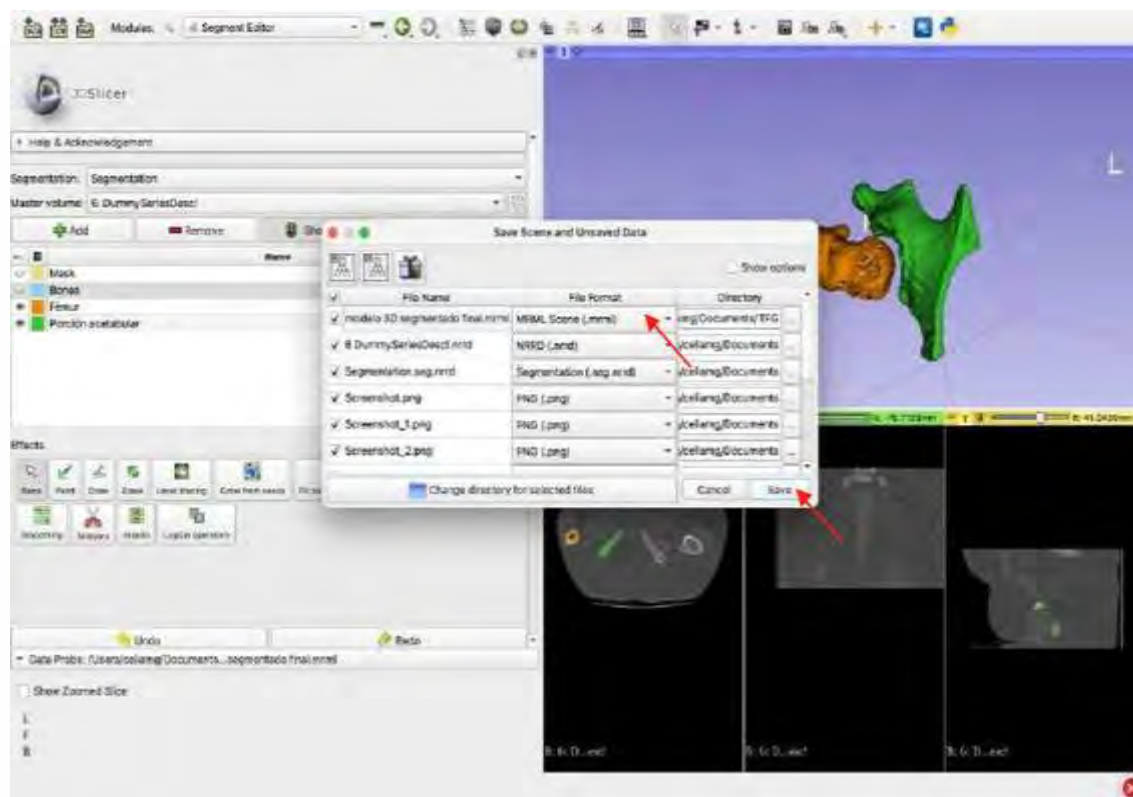


Paso 5: A continuación, se colorea manualmente al acetábulo afectado ya que este puede no haber sido identificado automáticamente debido a un rango de threshold insuficientemente discriminativo. Es importante tener en cuenta que el threshold elegido influye significativamente en el resultado del modelo. Como se observará más adelante, algunas áreas del hueso pueden quedar excluidas, especialmente aquellas con tejido esponjoso o con menor mineralización. Además, la unión entre la pelvis y el coxis puede no distinguirse completamente, dado el estrecho contacto entre estas estructuras en ciertos puntos.

Paso 6: Una vez se hayan creado todas las capas necesarias para diferenciar las distintas partes del modelo, el archivo estará listo para ser guardado. Asegúrate de que todas las capas están correctamente definidas y etiquetadas antes de proceder con el guardado. También puedes optar por guardar todo el modelo completo en un único archivo utilizando el formato MRML. Este formato conserva la configuración del proyecto, incluidas las capas, segmentaciones y ajustes realizados, facilitando su

reutilización o edición posterior (ver Figura 28). Con este último paso, el proceso estará completo.

Figura 28
Guardado de Formato



Planteamiento del Problema

3.1 Magnitud

Las fracturas complejas de acetábulo son lesiones difíciles de tratar sobre todo cuando no se dispone de herramientas para su compresión y prolongación en su tratamiento, es por ello que se planea realizar modelos a escala de las fracturas con impresión 3D.

3.2 Trascendencia

Realizar una planeación prequirúrgica con modelo 3D a escala y simular una cirugía

previa al procedimiento quirúrgico nos es de gran ayuda para tener una mejor elección de tipo de abordaje, implante más adecuado y con esto reducir la morbilidad de nuestros pacientes.

3.3 Vulnerabilidad

Es relevante contar con datos del Hospital Miguel Hidalgo de pacientes que acuden a por presentar fracturas complejas de acetábulo tratadas con una planeación 3D, con esto demostramos los beneficios de esta tecnología

3.4 Pregunta de Investigación

¿Las impresiones de modelos de fracturas 3D son realmente útiles para la planeación disminuyendo tiempo quirúrgico, sangrado y radiación?

3.5 Justificación

Al implementar la impresión 3D en la planeación nos es de gran ayuda ya que distintos estudios seriados y metaanálisis que la realización de planificación preoperatoria guiada por modelos en impresión 3D conlleva a un menor sangrado, menor tiempo quirúrgico, y menor exposición a radiación, el no contar con este tipo de herramienta nos lleva a subestimar lesiones complejas las cuales pueden tener una deficiencia en su planeación prequirúrgica y consecuente tratamiento, aumentando los días de estancia intrahospitalaria y sus complicaciones asociadas, a esto lo que lleva secuelas funcionales con limitación y discapacidad así como dolor crónico. Actualmente se reportan en el expediente clínico un promedio de 10 lesiones complejas por año con una estancia intrahospitalaria media de un paciente con fractura de acetábulo es de 7 días, y 2 intervenciones quirúrgicas. Con una planeación prequirúrgica con el uso de impresión 3D podemos disminuir el número de intervenciones en un solo tiempo quirúrgico al pre moldear el material de osteosíntesis con esto disminuyendo los días de estancia intrahospitalaria, tiempo quirúrgico, complicaciones y costos para esta institución, actualmente se considera viable en nuestro medio la implementación de este método diagnóstico terapéutico al contar con múltiples impresoras 3D y el software nativo del hospital para el

expediente radiológico.

Hipótesis

Hay un menor sangrado, tiempo quirúrgico, y menor exposición a radiación en pacientes con fracturas complejas de miembros pélvicos que tuvieron una planificación en modelos tridimensionales que en aquéllos en los que su tratamiento fue realizado basado en planificación

3.1 Objetivos

3.1.1 *Objetivo General*

Demostrar la ventaja de la planificación tridimensional en el tratamiento de lesiones complejas de miembros pélvicos en pacientes atendidos en el Hospital Miguel Hidalgo en cuanto a la reducción del tiempo quirúrgico, reducción del tiempo de sangrado, y reducción de la exposición a la radiación.

3.1.2 *Objetivos Secundarios*

- Mejor entendimiento de tipo de fractura ósea por médico residente.
- Practica medica prequirúrgica.
- Mejor entendimiento para el paciente sobre tipo de fractura.

Materiales y Método

Se llevó a cabo un estudio prospectivo de casos y controles, aleatorizado y comparativo entre enero 2022 a mayo 2024 en el Centenario Hospital Miguel Hidalgo Ags, Ags.

Se usó como base de datos lo registrado en el expediente clínico con los términos "fractura de acetábulo", Consideramos como criterio de inclusión: pacientes mayores de 18 años, pacientes con fractura de acetábulo, pacientes sin contraindicaciones para tiempo quirúrgico, pacientes con expediente radiográfico completo. Se excluyeron pacientes con contraindicaciones para tiempo quirúrgico, pacientes sin expediente radiográfico completo, pacientes que no aceptaron participar en el estudio.

A todos los pacientes se contó con radiografías AP, alar oblicuo, alar obturatriz, además de tomografía computarizada para evaluar, clasificar y planificar el tratamiento de las fracturas. Los pacientes que cumplieron con criterios de inclusión se dividieron en dos grupos aleatorizados: en el grupo A se incluyeron pacientes con una planificación preoperatoria bidimensional (ver Figura 29), de acuerdo con los parámetros propuestos por la Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO).

Figura 29
Planeación Tradicional

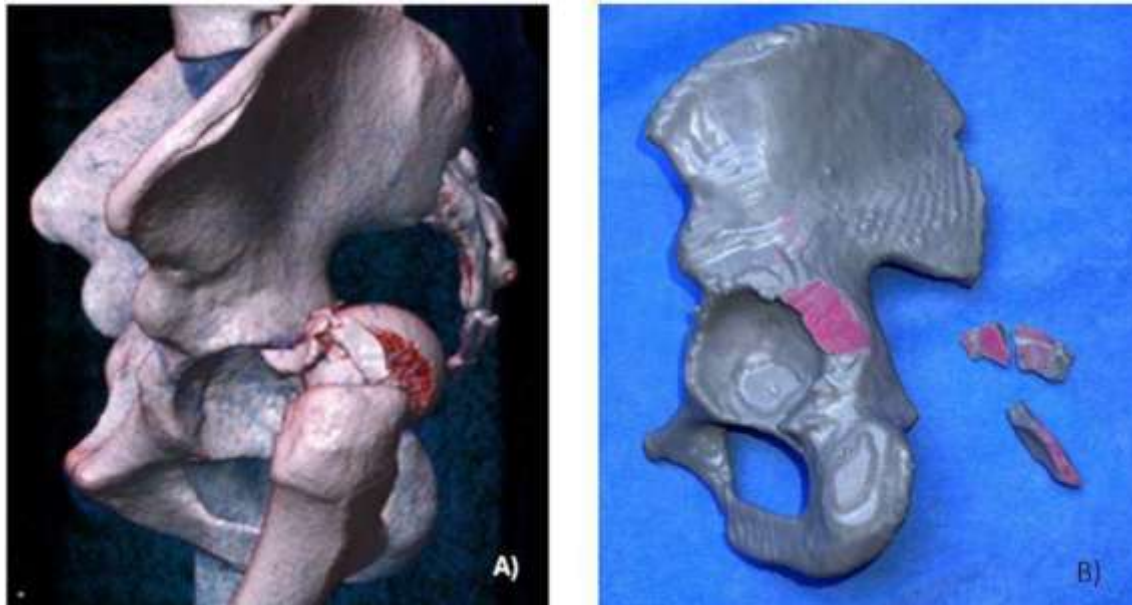


Nota. A: Radiografía anteroposterior de pelvis, donde se observa la presencia de una fractura de la pared posterior del acetábulo asociado a una luxación coxofemoral, B: Planificación bidimensional de la fractura previamente descrita.

Por otro lado, en el grupo B se incluyeron pacientes con un modelo impreso en 3D a escala 1:1, realizando una planificación con premoldeado de la placa sobre una reconstrucción impresa (ver Figura 30). Utilizando una metodología bien definida para crear un modelo impreso en 3D a escala 1:1 utilizando filamento plástico de ácido poliláctico (PLA) y arcilla.

Figura 30

Planeación con Modelo 3D



Nota. A: reconstrucción tomográfica de fractura acetabular; B: Impresión de modelo 3D de la fractura acetabular.

Grupo B flujo de trabajo para generación de biomodelo (ver Figura 31), Segmentación con modelo 3D (ver Figura 32) y planeación pre quirúrgica con modelo 3D (ver Figura 33).

Figura 31

Flujo de Adquisición de Imágenes

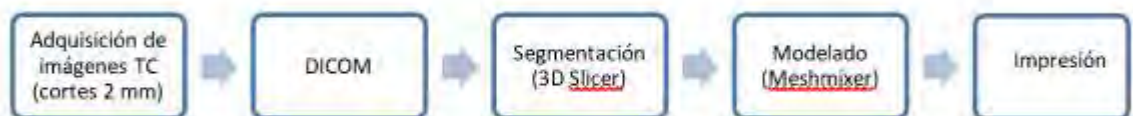


Figura 32

Segmentación de Imágenes en Software 3D Slicer

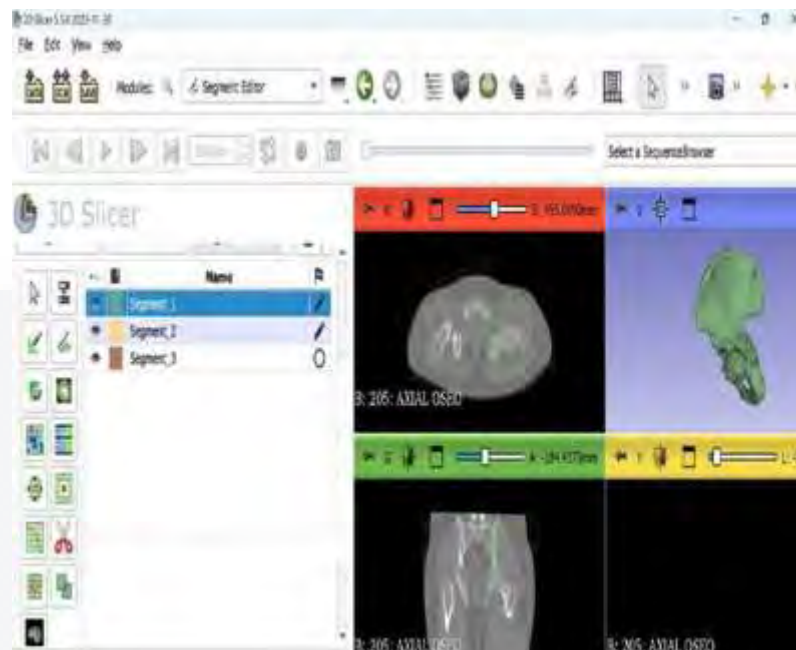
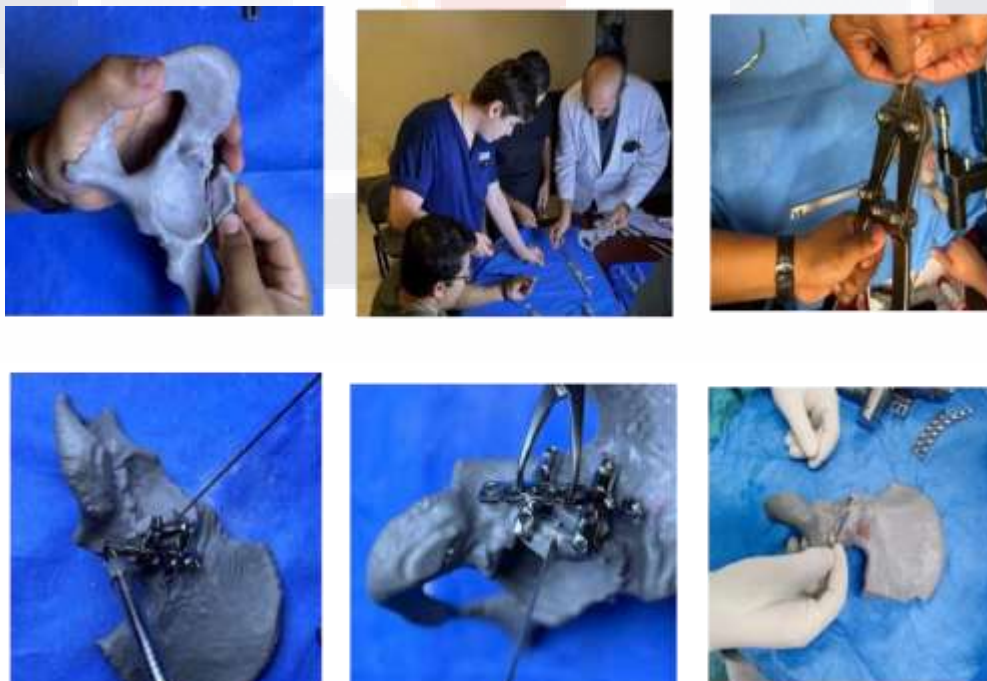


Figura 33

Planeación Prequirúrgica con Modelo 3D



4.1 Tipo de Investigación

Prospectivo de casos y controles, aleatorizados y comparativo.

4.2 Nivel de Investigación

Descriptivo.

4.3 Diseño

Investigación Clínica.

4.4 Universo de Estudio

Pacientes del Hospital Miguel Hidalgo.

Población de Estudio

Pacientes con fracturas de acetábulo tipo B y C AO en el Hospital Miguel Hidalgo.

4.5 Unidad de Estudio

Pacientes con fracturas de acetábulo tipo B y C AO en el Hospital Miguel Hidalgo.

4.6 Unidad de Análisis

TAC con reconstrucción 3D y modelos Impresos 3D Hospital Miguel Hidalgo.

4.7 Criterios de Inclusión

- Pacientes de cualquier sexo.
- Grupo de edad de 18 a 65 años.
- Modelo 3D.
- Estudio TAC en SYNAPSE con reconstrucción 3D.

4.8 Criterios de Exclusión

- Fracturas previas en extremidad afectada.

- Fracturas en zona patológica.
- Fuera de rango de edad.
- Presencia de alguna lesión en miembro pélvico contralateral a estudiar.

4.9 Cálculo de la Muestra

Considerándose un promedio de 1.5 pacientes por cada 2 meses, durante un año se tendrán aproximadamente 10 pacientes.

Para el cálculo de la muestra se hará uso de la siguiente formula:

$$n = \frac{N Z^2 pq}{d^2 (N - 1) + Z^2 pq}$$

N = Total de la población ()

Z = 1.96 al cuadrado (si la seguridad es del 95%)

p = proporción esperada (0.5)

q = 1 – p (0.5)

d = precisión (5% = 0.05)

Obteniéndose un total de 10 pacientes.

4.10 Definición de Variables

La definición de las variables de estudio se desarrolla en la Tabla 6.

Tabla 6*Definición de Variables*

Variable	Concepto	Indicador	Escala/Valor
Edad	Tiempo transcurrido desde el nacimiento del paciente hasta la fecha de ingreso	Años	16 -20 20-40 40 a 65 años
Sexo	Condición orgánica que diferencia las características biológicas externas y el rol de la reproducción.	Tipos de características fenotípicas	Masculino Femenino
Mecanismo de lesión	Lo que provoca una solución de continuidad del hueso	Tipo de agente	Accidente motocicleta Accidente automovilístico Caída de altura
Lesiones asociadas	Lesión a otra parte del cuerpo humano	Localización	Fractura miembro inferiores Fractura miembro superior Fractura de pelvis Trauma craneoencefálico Trauma tórax Lesión órgano intrabdominal Lesión neurológica
Manejo clínico	Manejo hemodinámico en unidades asistenciales	Unidad de atención de pacientes	Unidad cuidados intensivos Sala General

Variable	Concepto	Indicador	Escala/Valor
Daño neurológico	Lesión neurológica	Indicador	Prequirúrgica
	producto del trauma	afirmación	Transquirúrgico
	periférico nervio ciático	según evento quirúrgico	Postquirúrgica
Evaluación radiológica inicial	Estudios de imagen	Secuencias	Protocolo Radiografías
	realizados al ingreso	de estudios	Tomografía Axial
		radiológicos	computarizada Reconstrucción 3D
Tipo de fractura	Es la valoración radiológica de la fractura según criterios Judet-Letournel	Clasificación	Simple
		de la fractura	Pared anterior
		Acetábulo	Columna anterior
		Judet-	Pared posterior
		Letournel	Columna anterior
			Transversa
			Complejas
			Fracturas en T
			Columna, pared posterior
			Transversa +pared poster
Luxación cadera	Pérdida de la congruencia articular de la cadera afectada	Tipo de luxación	Ambas columnas
			Anterior Central Posterior
Tracción esquelética	Utilización de pin trans óseo para mantener tracción del miembro afectado	Tipo de tracción	Hamilton Transcondilea transtuberositaria
Tiempo medico de cirugía	Tiempo transcurrido desde el ingreso hasta la cirugía	Número de semanas	Menor de 2 semanas Mayor de 2 semanas

Variable	Concepto	Indicador	Escala/ Valor
Abordaje quirúrgico	Incisión en piel para realizar la reducción abierta	Nombre de la vía abordaje	Posterior Anterior Doble abordaje Mismo acto Qx Otro acto Qx
Material Osteosíntesis	Tratamiento que produce efecto de reducción directa	Tipo de método	Placa Recons Osteosíntesis con placa y tornillos Tornillos aislados
Tiempo quirúrgico	Tiempo transcurrido procedimiento quirúrgico	Número de horas	Anterior (horas) Posterior (horas)
Tiempo de radiación		Número de minutos	
Sangrado	Sangrado durante procedimiento quirúrgico	Escala ml	0-1000 (ml) 1001-2000 (ml) 2001- mas
Estancia intrahospitalaria	Tiempo en días transcurridos entre su ingreso y egreso del paciente	Escala de tiempo días	Antes cirugías (días) Posterior cirugías (días)
Complicaciones	Estados patológicos que se presentan, posterior al tratamiento	Tipo complicación	N. femoro cutáneo Infección Sitio Quirúrgico N. cutáneo Lesión Vasos iliacos N. ciático

Variable	Concepto	Indicador	Escala/Valor
Reducción	Restitución de congruencia articular	Indicador de unidad métrica	Anatómica Perfecta <2mm Imperfeta >2mm

4.11 Instrumento de Medición

ml de sangrado, minutos de cirugía, disparos exposición a radiación.

4.12 Métodos y Procedimiento

Se solicitará la autorización al Comité de Ética para la realización de este estudio, una vez obtenida, se iniciará el proceso de selección de casos, en Hospital Miguel Hidalgo, Se busco el tiempo de cirugía, sangrado y exposición a radiación.

4.13 Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el paquete estadístico SPSS V26, se realizó una prueba descriptiva para resumir las variables, comprobando una distribución no normal mediante la prueba de Shapiro-Wilkins. Para el análisis bivariado, se analizó en la comparación de las variables cuantitativas la prueba de U de Vandwim, y en las cualitativas la prueba de Chi cuadrada. Se consideró un valor alfa significativo de P -0.005.

4.14 Aspectos éticos

Los procedimientos establecidos en esta investigación cumplen con las normas éticas y los reglamentos institucionales, así como con el Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud, la Declaración de Helsinki y sus enmiendas. Según el Reglamento de la Ley General de Salud, en su Título Segundo, que trata sobre los Aspectos Éticos de la Investigación en Seres Humanos, Capítulo I, Artículo 17, esta investigación se clasifica como categoría I; una investigación sin riesgo, dado que se trata de un estudio retrospectivo.

ESPECIALMENTE, SE CONSIDERAN LOS SIGUIENTES ARTÍCULOS.

Este estudio no requiere la obtención de consentimiento informado, ya sea verbal o escrito, ya que solo se realizarán revisiones retrospectivas de expedientes clínicos sin interacción directa con los pacientes.

El Artículo 13 establece que en toda investigación donde el ser humano sea objeto de estudio, se debe respetar su dignidad y proteger sus derechos y bienestar. El Artículo 14 menciona que la investigación en seres humanos debe llevarse a cabo de acuerdo con ciertas bases, incluyendo:

I. Adherirse a principios científicos y éticos que la justifiquen. III. Realizarse solo cuando el conocimiento que se busca no pueda obtenerse por otros métodos adecuados. VI. Estar a cargo de profesionales de la salud, conforme al artículo 114 de este Reglamento, que cuenten con la experiencia necesaria para garantizar la integridad del ser humano, bajo la responsabilidad de una institución de atención a la salud que actúe bajo la supervisión de las autoridades sanitarias competentes y que disponga de los recursos humanos y materiales necesarios para asegurar el bienestar de los sujetos de investigación. VII. Contar con la aprobación favorable de las Comisiones de Investigación, Ética y Bioseguridad, si es necesario. VIII. Realizarse una vez obtenida la autorización del responsable de la institución de atención a la salud y, en su caso, de la Secretaría, de acuerdo con los artículos 31, 62, 69, 71, 73 y 88 de este Reglamento.

El Artículo 16 establece que la privacidad del individuo que participa en la investigación debe ser protegida, identificándose solo cuando los resultados lo requieran y exista autorización por su parte. El Artículo 23 indica que en investigaciones con riesgo mínimo, la Comisión de Ética puede permitir que el consentimiento informado se obtenga sin necesidad de un formato escrito, y en investigaciones sin riesgo, puede eximir al investigador del requisito de consentimiento informado.

En cuanto a la confidencialidad, toda la información recopilada será guardada de manera confidencial. En la base de datos, los pacientes no serán identificados por su nombre, sino mediante un número de folio asignado a este protocolo. En la presentación de los resultados de este estudio en congresos o foros

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

médicos, no se revelará la identidad de los pacientes, y este mismo criterio se aplicará a las publicaciones derivadas de este proyecto.

4.15 Aspecto de Bioseguridad

No aplica.

4.16 Carta de Consentimiento Informado

Se entregará carta de consentimiento a cada paciente para su participación.

4.18 Recursos, Financiamiento y Factibilidad

4.18.1 Recursos Físicos

El estudio se llevó a cabo en el Hospital Miguel Hidalgo.

4.18.1 Financiamiento

Se conto con apoyo de casas comerciales de Osteoscop y Biodist

4.18.2 Factibilidad

El estudio es factible, ya que se tiene el acceso a pacientes en volumen suficiente, no requiere recursos adicionales a los ya destinados a la atención de lospacientes y se tiene la capacidad técnica para llevarlo a cabo.

4.18.3 Recursos humanos

Los recursos humanos utilizados para llevar a cabo la investigación se describen en la Tabla 7.

Tabla 7

Recursos Humanos

Recursos humanos	Categoría	Experiencia y funciones
Dr. Víctor Hugo Duran Puente	Médico residente de cuarto año de la especialidad de traumatología y ortopedia	Tesista, responsable del proyecto. Estará a cargo de obtención de datos, así como de su análisis e interpretación de resultados
Dr. Ignacio Soto	Médico adscrito al servicio de pelvis y acetábulo	Director de tesis, amplia experiencia en el estudio y manejo de pacientes estará a cargo de asesorar

Resultados

Se incluyeron 28 pacientes, de los cuales 23 (82%) eran hombres y 5 mujeres (9%); 18 pacientes fueron asignados al grupo A y 10 al grupo B. El equipo quirúrgico era siempre el mismo cirujano y cuatro residentes. La composición demográfica se muestra en la Tabla 8, así como en la Figura 34 y 35

Tabla 8

Muestra de los dos Grupos de Pacientes Incluidos en el Estudio

GRUPO A				GRUPO B			
Paciente	Edad	Sexo	Clasificación de Judet y Letournel	Paciente	Edad	Sexo	Clasificación de Judet y Letournel
1		28 M	G	1		35 M	H
2		38 M	A	2		26 M	H
3		64 F	A	3		21 M	G
4		41 M	H	4		23 M	F
5		44 M	B	5		38 M	A
6		45 M	F	6		76 M	H
7		30 F	I	7		19 M	F
8		18 M	A	8		18 M	A
9		59 M	H	9		38 M	A
10		28 M	G	10		26 M	A
11		38 M	A				
12		55 F	H				
13		41 M	H				
14		44 M	I				
15		45 M	F				
16		28 M	J				
17		38 M	H				
18		64 F	H				

Nota. *Clasificación de Judet-Letorunel

Figura 34
Clasificación de Judet y Leournel grupo A

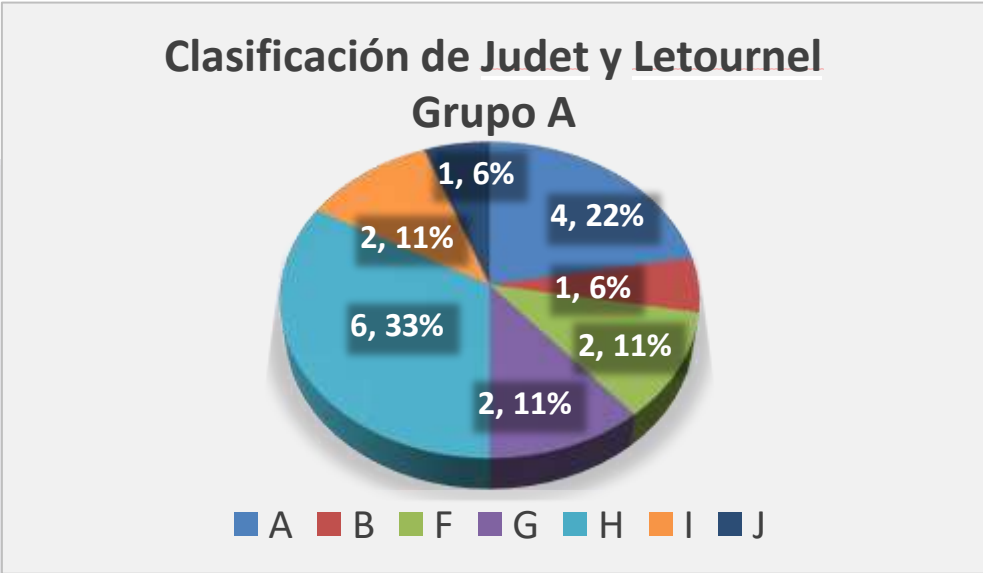


Figura 35
Clasificación de Judet y Leournel grupo B

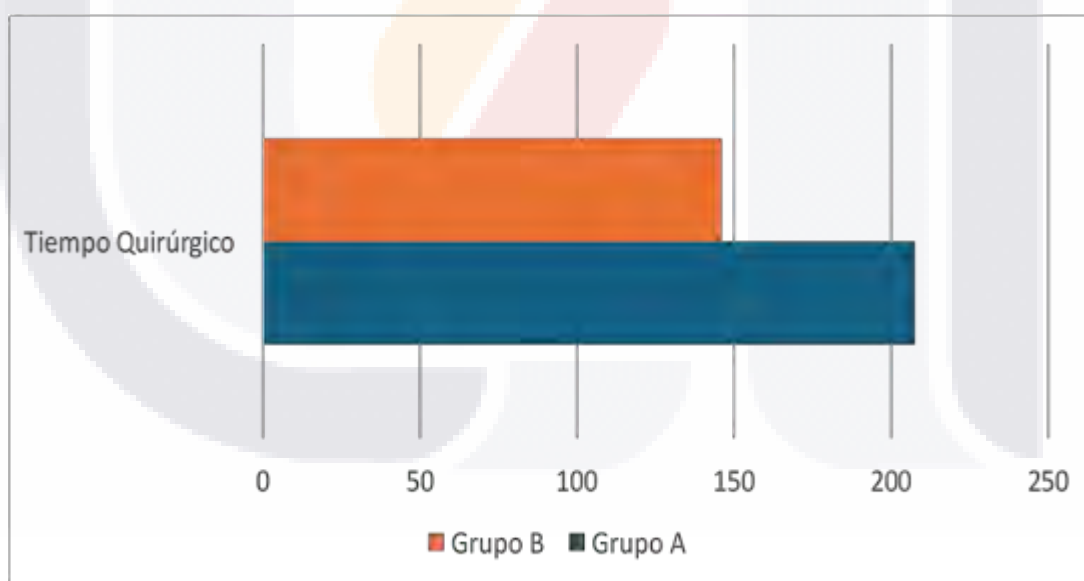


El grupo A se conformó de 18 participantes con una edad promedio de 41 años. Mientras que el grupo B estuvo conformado por 10 pacientes con una edad promedio de 34 años. En todos los pacientes el mecanismo de lesión fue falta de energía.

Se evaluaron tres parámetros: la duración del tiempo quirúrgico, medido en minutos, y en el cual se encontró que en el grupo A se cronometró una duración de 207.5 min (± 45.4), mientras que en el grupo B se contabilizó un tiempo quirúrgico de 146 minutos (± 22.8), esto con una significancia estadística de $p < 0.002$, encontrando una disminución considerable en el grupo planificado con la impresión del modelo tridimensional (ver Figura 36).

Figura 36

Comparación entre los Grupos A y B



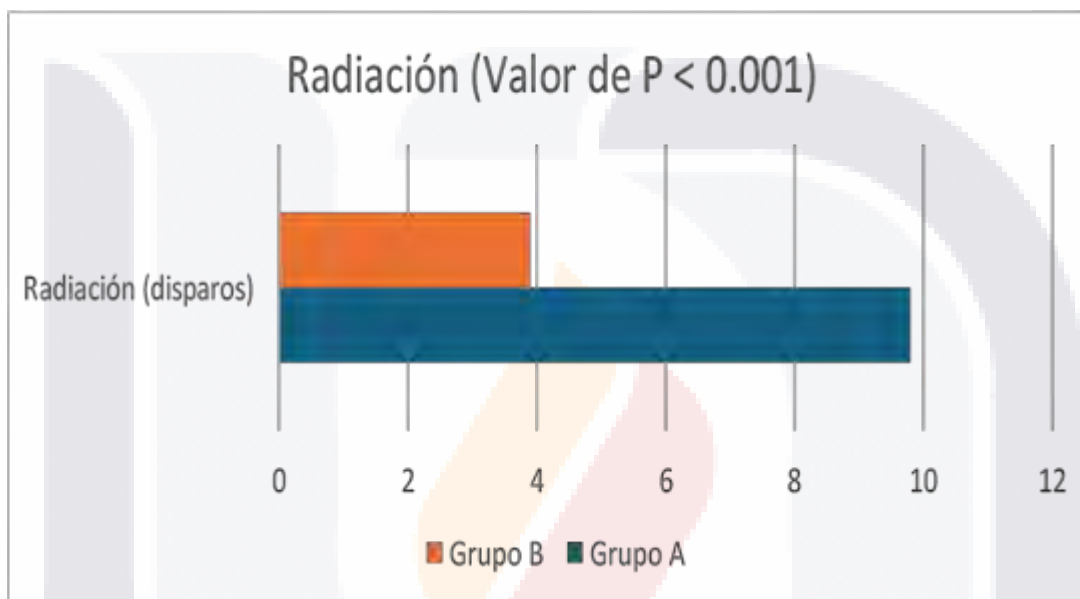
Nota. Se encontró tiempo quirúrgico 207.5 ± 45.4 vs 146 ± 22.8 minutos ($P < 0.001$).

Por otro lado, se midió la exposición a la radiación transquirúrgica en cuanto a la cantidad de imágenes tomadas durante el tiempo quirúrgico. En el grupo A se

tomó en promedio 9.8 disparos (± 4.1), mientras que en el grupo B se tomó una cantidad promedio de 3.9 disparos (± 0.78), con una significancia estadística de $p < 0.001$ (ver Figura 37).

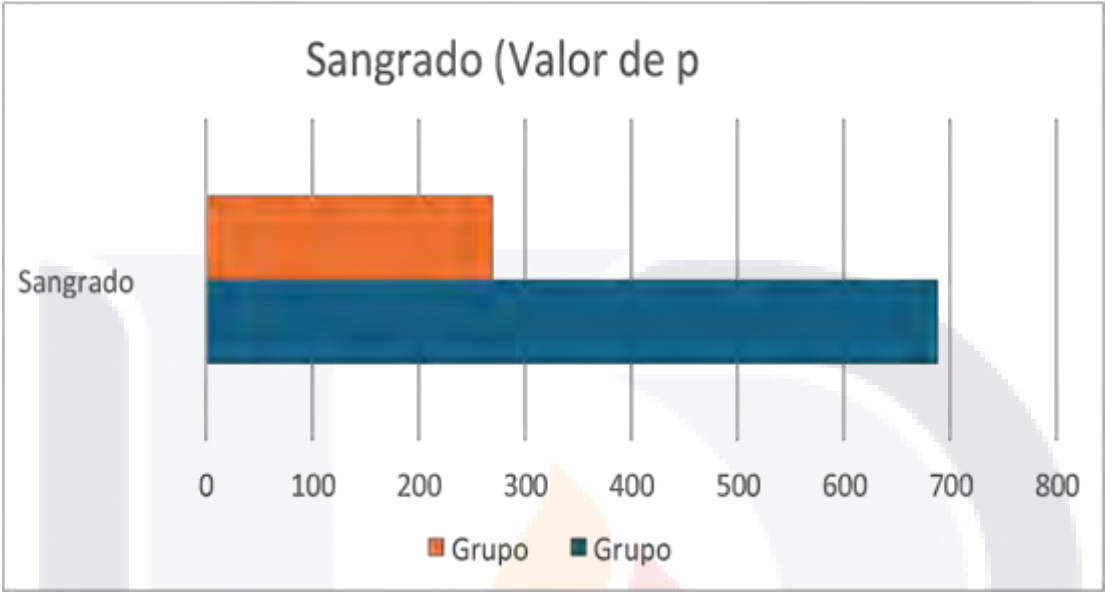
Figura 37

Exposición a Radiación entre los Grupos A y B



Por último, se evaluó el sangrado transquirúrgico, en el que se encontró que en el grupo A la media de pérdida sanguínea registrada fue de 683.3 ml (± 341.7) versus el grupo B que registró una pérdida de 270.0 ml (± 45.47), esto con una significancia estadística de $p < 0.001$ (ver Figura 38).

Figura 38
Sangrado Transquirúrgico entre los Grupos A y B



La planificación preoperatoria en el grupo B fue más compleja que en el grupo A. El tiempo necesario para completar la réplica del modelo de tamaño natural puede variar desde tan solo 5 h en muestras simples hasta 11 h para las complejas.

Discusión

La comprensión de las fracturas de acetábulo de forma tridimensional inicio con el estudio publicado por Judet y Letournel en 1964 describiendo su clasificación, la cual comprende la compleja geometría de la fractura (Bruns & Krettek, 2019). Mediante la segmentación, cuyo objetivo es identificar huesos y fragmentos como objetos separados, se puede virtualmente alinear los fragmentos respecto a la porción contralateral y así lograr una reducción anatómica de los fragmentos (Bruns & Krettek, 2019).

Diversos metaanálisis han demostrado que el uso de modelos tridimensionales en la planificación facilita la comprensión de la fractura, reduce el tiempo quirúrgico y las complicaciones tales como el sangrado transquirúrgico (Cao et al., 2021; Moya et al., 2022; Skelley et al., 2019; Tao et al., 2023). La planeación preoperatoria utilizando modelos 3D también ha mejorado de forma significativa la comprensión de la lesión y su gravedad por parte del paciente, Fidanza aplicó un cuestionario posterior a mostrar la planeación prequirúrgica a los paciente en fracturas proximales de humero, donde hubo una diferencia significativa de la comprensión de la fractura con respecto a los pacientes que se les informo de forma convencional, reportando también una mejoría en la comprensión de la misma por parte del personal médico (Portnoy et al., 2023).

Se han realizado diversos estudios comparativos entre la planificación con modelos impresos y planificaciones tradicionales, dentro de los parámetros en los cuáles se ha observado una ventaja de las planificaciones basadas en modelos impresos, se han observado tres constantes: la disminución del tiempo quirúrgico, la disminución del sangrado transoperatorio y la disminución a la exposición a controles fluoroscópicos (Fidanza et al., 2022; Huang et al., 2020; Upex et al., 2017; Zheng et al., 2022). Además, se ha mostrado que la impresión de modelos tridimensionales no solo tiene ventajas en la planificación preoperatoria, si no, en el diseño de implantes protésicos a medida en defectos pélvicos y acetabulares⁴⁰.

Con respecto a nuestro estudio, encontramos resultados similares a la literatura consultada, teniendo una disminución considerable en el tiempo

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

quirúrgico, sangrado transquirúrgico y el tiempo de exposición a radiación de los controles fluroscópicos. Resaltamos que el tiempo quirúrgico se vio disminuido en promedio de 61 minutos. Upex et al. (2017) refieren una disminución de tiempo quirúrgico aproximada de 30 minutos. Sakon S. Y. observo además una disminución en la presentación de complicaciones al realizar el premoldeado de las placas de forma transoperatoria, como lo son lesiones a estructuras nerviosas (Portnoy et al., 2023).

Meesters realizó un metaanálisis donde se mostró que si bien se reduce el tiempo quirúrgico y complicaciones como el sangrado transquirúrgico, esto no se traduce en una mejoría en cuanto a la funcionalidad de los pacientes planificados con o sin modelo tridimensional; opuesto a los resultados obtenidos por Ji-Hui Huang donde la funcionalidad de la cadera intervenida con ayuda de impresión 3D en el postquirúrgico presento excelentes/buenos resultados en 75% de los pacientes vs 30% de los que fueron intervenidos de forma convencional (Fang et al., 2019).

Conclusiones

En el presente estudio concluimos que la aplicación de modelos 3D en la planificación tiene un impacto estadísticamente significativo en la reducción de tiempo quirúrgico, sangrado, y exposición a la radiación con respecto a la planificación tradicional.

Así mismo consideramos una ventaja significativa en la comprensión de las fracturas, permitiendo una elección más precisa del abordaje quirúrgico y de los implantes más adecuados. Esto facilita una reducción óptima de la fractura, lo que contribuye a disminuir la morbilidad asociada al tratamiento de las fracturas acetabulares.



Glosario

- **Extrusor:** Se encarga de empujar el filamento hacia el hotend, generando suficiente presión en él, para que el material fundido fluya de manera estable y uniforme a través de la boquilla.
- **DM:** Este es el término registrado para el modelado por deposición fundida, un proceso de fabricación aditiva para prototipos y producción a pequeña escala.
- **FFF:** La fabricación con filamento fundido es un proceso de fabricación aditiva que utiliza bobinas de filamento para prototipar.
- **Filamento:** Es la materia prima que utilizan las impresoras 3D para fabricar objetos físicos a partir de un diseño 3D.
- **Fabricación sustractiva:** Cualquier proceso de producción de piezas mediante la eliminación de materiales de bloques sólidos, barras de plástico, metales u otros materiales eliminados por corte, perforación y molienda.
- **DICOM:** Imágenes digitales y comunicaciones en medicina
- **Impresión 3D:** Proceso de fabricación aditiva. Estas son algunas de las tecnologías que coexisten: FDM, SLA y Sinterizado Selectivo por Láser.
- **Modelado 3D:** Etapa de la infografía tridimensional que consiste en crear un objeto tridimensional en un programa informático de modelado 3D añadiendo, sustrayendo y modificando sus componentes.

Referencias

- Bagaria, V., Bhansali, R., & Pawar, P. (2018). 3D printing- creating a blueprint for the future of orthopedics: Current concept review and the road ahead. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, 9(3), 207-212. [10.1016/j.jcot.2018.07.007](https://doi.org/10.1016/j.jcot.2018.07.007)
- Bizzotto, N., Tami, I., Tami, A., Spiegel, A., Romani, D., Corain, M., Adani, R., & Magnan, B. (2016). 3D Printed models of distal radius fractures. *Injury*, 47(4). [10.1016/j.injury.2016.01.013](https://doi.org/10.1016/j.injury.2016.01.013)
- Bruns, N., & Krettek, C. (2022). 3D-Druck in der Unfallchirurgie. *Unfallchirurg*, 125, 339-341. <https://doi.org/10.1007/s00113-022-01179-8>
- Cai, L., Zhang, Y., Chen, C., Lou, Y., Guo, X., & Wang, J. (2018). 3D printing-based minimally invasive cannulated screw treatment of unstable pelvic fracture. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 13(1). [10.1186/s13018-018-0778-1](https://doi.org/10.1186/s13018-018-0778-1)
- Cao, J., Zhu, H., & Gao, C. (2021). A Systematic review and meta-Analysis of 3D Printing Technology for the treatment of acetabular fractures. *BioMed Research International*, 2021(1), 1-15. [10.1155/2021/5018791](https://doi.org/10.1155/2021/5018791)
- Chana Rodriguez, F., Pérez Mañanes, R., Narbora Cárceles, F. J., & Gil Martínez, O. (2018). 3D printing utility for surgical treatment of acetabular fractures. *Revista Española de cirugía ortopédica y traumatología (English ed.)*, 64(4), 231-239. [10.1016/j.recot.2018.02.007](https://doi.org/10.1016/j.recot.2018.02.007)
- Chen, C., Cai, L., Zheng, W., Wang, J., Guo, X., & Chen, H. (2019). The efficacy of using 3D printing models in the treatment of fractures: a randomized clinical trial. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 20(65). <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2448-9>
- Dimenr, L. E., Thompson, M. S., & Bergmann, J. H. M. (2017). Clinical efficacy and effectiveness of 3D printing: a systematic review. *BMJ open*, 7(12). [10.1136/bmjopen-2017-016891](https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-016891)
- Dresing, K. (2011). X-ray in trauma and orthopedic surgery. Physical and biological impact, reasonable use, and radiation protection in the operating room. *Operative Orthopädie und Traumatologie*, 23(1). [10.1007/s00064-010-0001-y](https://doi.org/10.1007/s00064-010-0001-y)
- Fang, C., Cai, H., Kuong, E., Chui, E., Chuen Siu, Y., Ji, T., & Drstvenšek, I. (2019). Surgical applications of three-dimensional printing in the pelvis and acetabulum: from models and tools to implants. *Unfallchirurg*, 122(4), 278-285. [10.1007/s00113-019-0626-8](https://doi.org/10.1007/s00113-019-0626-8)

- Fidanza, A., Perinetti, T., Logroscino, G., & Saracco, M. (2022). D Printing Applications in Orthopaedic Surgery: Clinical Experience and Opportunities. *Applied Sciences*, 12(7). [10.3390/app12073245](https://doi.org/10.3390/app12073245)
- Gross, C. B., Erkal, J. L., Lockwood, S. Y., Chen C., & Spence, D. M. (2014). Evaluation of 3D printing and its potential impact on biotechnology and the chemical sciences. *Analytical Chemistry*, 86(7). [10.1021/ac403397r](https://doi.org/10.1021/ac403397r)
- Gupta, R. (2002). Intercondylar fractures of the distal humerus in adults: a clinical analysis of 55 cases. *Injury*, 33(6). [10.1016/s0020-1383\(02\)00009-8](https://doi.org/10.1016/s0020-1383(02)00009-8)
- Hayda, R. A., Hsu, R. Y., DePasse, J. M., & Gil, J. A. (2018). Radiation Exposure and Health Risk for Orthopaedic Surgeons. *Journal of the American Academy of Orthopaedics*, 26(8), 268-277. [10.5435/JAAOS-D-16-00342](https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-16-00342)
- Huang, J., Liao, H., Tan, X., Xing, W., Zhou, Q., Zheng, Y., Caaoy, Y., & Zeng, C. (2020). Surgical treatment for both-column acetabular fractures using pre-operative virtual simulation and three-dimensional printing techniques. *Chinese Medical Journal*, 133(4), 395-401. [10.1097/CM9.0000000000000649](https://doi.org/10.1097/CM9.0000000000000649)
- Liu, Y., Xu, L., Zhu, H., & Liu S. S. (2014). Technical procedures for template-guides surgery for mandibular reconstruction based on digital design and manufacturing. *Biomedical engineering online*, 13(63). [0.1186/1475-925X-13-63](https://doi.org/10.1186/1475-925X-13-63)
- Lou, Y., Cai, L., Wang, C., Tangm Q., Pan, T., Guo, X., & Wang, J. (2017). Comparison of traditional surgery and surgery assisted by three dimensional printing technology in the treatment of tibial plateau fractures. *International Orthopaedics*, 41(9), 1875-1880. [10.1007/s00264-017-3445-y](https://doi.org/10.1007/s00264-017-3445-y)
- Maini, L., Verman, T., Sharma, A., Sharma, A., Mishra, A., & Jha, S. (2018). Evaluation of accuracy of virtual surgical planning for patient-specific pre-contoured plate in acetabular fracture fixation. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 138(4), 496-504. [10.1007/s00402-018-2868-2](https://doi.org/10.1007/s00402-018-2868-2)
- Michielsen, M., Van Haver, A., Vanhees, M., van Riet, R., Verstreken, F. (2019). Use of three-dimensional technology for complications of upper limb fracture treatment. *Effort open reviews*, 4(6), 302-312. [10.1302/2058-5241.4.180074](https://doi.org/10.1302/2058-5241.4.180074)
- Mirai 3D. (28 de diciembre de 2019). *Biomodelos médicos 3D y Planeamiento quirúrgico*. <https://www.modelosmedicos.com/copia-de-surgical-planning>

- Mishra, A., Verma, T., Vaish, A., Vaish, R., Vaishya, R., & Maini, L. (2019). Virtual preoperative planning and 3D printing are valuable for the management of complex orthopaedic trauma. *Chinese Journal of traumatology*, 22(6), 350-355. [10.1016/j.cjtee.2019.07.006](https://doi.org/10.1016/j.cjtee.2019.07.006)
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman D. G., & PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Medicine*, 6(7). [10.1371/journal.pmed.1000097](https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097)
- Moya, D., Gobbato, B., Valente, S., & Roca, R. (2022). Uso de planificación preoperatoria e impresión 3D en ortopedia y traumatología: ingresado en nueva era. *Acta Ortopédica Mexicana*, 36(1), 39-47. 10.35366/106758
- Portnoy, Y., Koren, J., Khoury, A., Factor, S., Dadia, S., Ran, Y., & Benady, A. (2023). Three-dimensional technologies in presurgical planning of bone surgeries: current evidence and future perspectives. *The International Journal of Surgery*, 109(1), 3-10. [10.1097/JS9.0000000000000201](https://doi.org/10.1097/JS9.0000000000000201)
- Sarmiento, A., Ebrahimzadeh, E., Brys, D., & Tarr, R. (1992). Angular deformities and forearm function. *Journal of Orthopaedic Research*, 10(1), 121-133. [10.1002/jor.1100100115](https://doi.org/10.1002/jor.1100100115)
- Schubert, C., van Langeveld, M. C., & Donoso L. A. (2013). Innovations in 3D printing; a 3D overview from optics to organs. *The British Journal of Ophthalmology*, 98(2). [10.1136/bjophthalmol-2013-304446](https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2013-304446)
- Serrano, C., Fortenay, S., van den Brink, H., Pineau, J., Prognon, P., & Martelli, N. (2020). Evaluation of 3D printing costs in surgery: a systematic review. *International Journal of Technology Assessment in Health Care*, 36, 349-355. [10.1017/S0266462320000331](https://doi.org/10.1017/S0266462320000331)
- Seruya, M., Fisher, M., & Rodriguez, E. D. (2013). Computer-assisted versus conventional free fibula flap technique for craniofacial reconstruction: an outcomes comparison. *Plastic and reconstructive surgery*, 132(5), 1219-1228. [10.1097/PRS.0b013e3182a3c0b1](https://doi.org/10.1097/PRS.0b013e3182a3c0b1)
- Skelly, N. W., Smith, M. J., Ma, R., & Cook J. L. (2019). Three-dimensional Printing Technology in orthopaedics. *The Journal of American Academy of Orthopaedic surgeon*, 27(24), 918-925. [10.5435/JAAOS-D-18-00746](https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-18-00746)

- Sullivan, G. M., & Feinn, R. (2012). Using Effect Size-or Why the P Value Is Not Enough. *Journal of Graduate Medical Education*, 4(39), 279-282. [10.4300/JGME-D-12-00156.1](https://doi.org/10.4300/JGME-D-12-00156.1)
- Tao, F., Li, L., Wang, D., Dong, J., Zhou, D., & Song, W. (2023). Three-dimensional printing versus traditional surgery for inveterate pelvic and acetabular fractures: A retrospective study of 37 patients. *Medicine (Baltimore)*, 102(46). [0.1097/MD.00000000000036149](https://doi.org/10.1097/MD.00000000000036149)
- Upex, P., Jouffroy, P., & Riouallon, G. (2017). Application of 3D printing for treating fractures of both columns of the acetabulum: Benefit of pre-contouring plates on the mirrored healthy pelvis. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research*, 103(39), 331-334. [10.1016/j.otsr.2016.11.021](https://doi.org/10.1016/j.otsr.2016.11.021)
- Villar, R. N., Marsh, D., Rushton, N., & Greatedorex, R. A. (1987). Three years after Colles' fracture. A prospective review. *The journal of bone and joint surgery*, 69(4). [10.1302/0301-620X.69B4.3611172](https://doi.org/10.1302/0301-620X.69B4.3611172)
- Xia, R., Zhai, Z., Chang, Y., & Li, H. (2019). Clinical Applications of 3-Dimensional Printing Technology in Hip Joint. *Orthopedic Surgery*, 11(4), 533-544. [10.1111/os.12468](https://doi.org/10.1111/os.12468)
- Yang, L., Grottaku, B., He, Z., & Ye, C. (2017). Three-dimensional printing technology and materials for treatment of elbow fractures. *International Orthopaedics*, 41(11), 2381-2387. [10.1007/s00264-017-3627-7](https://doi.org/10.1007/s00264-017-3627-7)
- Yang, L., Shang, X., Fan, J., He Z., Wang, J., Liu, M., Zhuang, Y., & Ye, C. (2016). Application of 3D Printing in the Surgical Planning of Trimalleolar Fracture and Doctor-Patient Communication. *BioMed Research International*, 2016. [10.1155/2016/2482086](https://doi.org/10.1155/2016/2482086)
- You, W., Liu L. J., Chen, H. X., Xiong, J. y., Wang, D. M., Huang, J. H., Ding, J. K., & Wang, D. P. (2016). Application of 3D printing technology on the treatment of complex proximal humeral fractures (Neer3-part and 4-part) in old people. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research*, 102(7), 897-903. [10.1016/j.otsr.2016.06.009](https://doi.org/10.1016/j.otsr.2016.06.009)
- Zheng, W., Tao, Z., Lou,Y., Feng., Z., Li, H., Cheng, L., Zhang, H., Wang, J., Guo, X., & Chen, H. (2018). Comparison of the Conventional Surgery and the Surgery Assisted

by 3d Printing Technology in the Treatment of Calcaneal Fractures. *Journal of Investigative Surgery*, 31(6), 557-567. [10.1080/08941939.2017.1363833](https://doi.org/10.1080/08941939.2017.1363833)

Zheng, X., Su, J., Cai, L., Lou, Y., Wang, J., Guo, X., Tang, J., & Chen, H. (2018). Application of 3D-printing technology in the treatment of humeral intercondylar fractures. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research*, 104(1), 83-88. [10.1016/j.otsr.2017.11.012](https://doi.org/10.1016/j.otsr.2017.11.012)

Zheng, Y., Chen, J., Yang, S., Ke, X., Xu, D., Wang, G., Cai, X., 6 Liu, X. (2022). Application of computerized virtual preoperative planning procedures in comminuted posterior wall acetabular fractures surgery. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 17(1). [10.1186/s13018-022-02937-5](https://doi.org/10.1186/s13018-022-02937-5)



Anexos

Anexo A. Cronograma de actividades

TITULO DEL PROTOCOLO: “PLANIFICACIÓN PREOPERATORIA CON IMPRESIÓN 3D EN LESIONES ÓSEAS COMPLEJAS EN ACETABULO””

No.	Actividad	2023						2024	
		Julio	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	feb
1	Elaboración de protocolo	X							
2	Evaluación ante comité de bioética		X						
3	Recolección de datos	x	x	x	x	x	x		
4	Captura y de análisis de información						X		
5	Interpretación de resultados							X	
6	Redacción de tesis							X	X
7	Redacción de artículo								X



Anexo B.



“PLANIFICACIÓN PREOPERATORIA CON IMPRESIÓN 3D EN
LESIONES ÓSEAS COMPLEJAS DE ACETABULO”

Nombre _____ Expediente _____

_____ Edad _____

Diagnostico _____

Fecha de cirugía _____

Favor de llenar cada uno de los rubros.

1. _____ TIEMPO QUIRURGICO: _____

2. _____ SANGRADO: _____

3. _____ TIEMPO DE RADIACIÓN: _____

4. _____ MODELO 3 D I NO

CUESTIONARIO DE SATISFACCION DE IMPRESIÓN 3D PARA MEDICOS

1. ¿El contar con una impresión 3D te ayudó en la planeación preoperatoria?

2. ¿El modelo 3D te ayudó en la elección del implante?

3. ¿Utilizarías un modelo 3D para la planeación preoperatoria de cualquier otra fractura y lo recomendarías a otros colegas?

CUESTIONARIO DE SATISFACCION DE IMPRESIÓN 3D PARA PACIENTES

1. ¿Habías visto anteriormente un modelo 3D impreso de alguna parte de tu cuerpo?
2. ¿Qué tan bien pudiste entender la gravedad de tu fractura después de haber sido explicada por tu médico utilizando los rayos X y la tomografía?
3. ¿Qué tan bien pudiste entender la gravedad de tu fractura o lesión después de verla impresa en modelo 3D?
4. ¿Qué tan importante fue para ti observar una impresión 3D de tu fractura previo a tu cirugía?

Anexo C. Consentimiento informado



CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPAR EN EL PROYECTO:

“Planificación preoperatoria con impresión 3D en lesiones óseas complejas en miembros pélvicos”

INVITACION A PARTICIPAR Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Estimado Sr(a).

El Centenario Hospital Miguel Hidalgo, a través del grupo de investigación, le invitan a participar en este estudio de investigación que tiene como objetivo:

- A. Demostrar la ventaja de la planificación tridimensional en el tratamiento de fracturas complejas de miembros pélvicos en pacientes atendidos en el Hospital Miguel Hidalgo en cuanto a la reducción del tiempo quirúrgico, reducción del tiempo de sangrado, y reducción de la exposición a la radiación.
- B. Mejor entendimiento de la fractura por el paciente

Usted fue invitado al estudio debido a que tiene las siguientes características:

- **Fractura de acetábulo COMPLEJAS // AO B Y C**
- **Edad 18-65 años**
- **Sexo masculino y femenino**
- **Contar con TAC y reconstrucción 3D**
- **Contar con extremidad contralateral sin**

fractura previa PROCEDIMIENTOS DEL

ESTUDIO

Su participación en el estudio consiste en:

- **Ser tratado ortopédicamente con una mejor planeación quirúrgica**

Los procedimientos del estudio incluyen la realización de:

Realizar modelo 3D de su tipo de fractura

Las responsabilidades de los participantes incluyen:

Mejor planeación quirúrgica disminución de tiempo de cirugía, sangrado y exposición a radiación

RIESGOS E INCONVENIENTES

Retardo en realización de evento quirúrgico

BENEFICIOS POTENCIALES

Disminución de sangrado, tiempo de cirugía y exposición a radiación

_____ Nombre del Participante	_____ Firma del Participante
_____ Fecha	
_____ Nombre del investigador	_____ Firma del investigador
_____ Fecha	
_____ Nombre del testigo 1	_____ Firma del testigo 1
_____ Fecha	_____ Relación con el paciente
_____ Nombre del testigo 2	_____ Firma del testigo 2
_____ Fecha	_____ Relación con el paciente
_____ Lugar y fecha	