



**CENTENARIO HOSPITAL MIGUEL HIDALGO
CENTRO DE CIENCIAS DE LA SALUD**

TESIS

**ANÁLISIS RADIOGRÁFICO DEL BALANCE ESPINOPÉLVICO
EN PACIENTES CON ESPONDILOLISTESIS DEGENERATIVA
LUMBAR TRATADOS CON FUSIÓN INTERSOMÁTICA Y
FUSIÓN POSTEROLATERAL**

**PRESENTA:
DANIEL EUDAVE SANTOS**

**PARA OBTENER EL GRADO DE:
ESPECIALISTA EN TRAUMATOLOGÍA Y ORTOPEDIA**

**ASESOR:
LUIS MIGUEL SORIA IBARRA**

AGUASCALIENTES, AGS. FEBRERO DE 2026

GOBIERNO DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES



El gigante
de México

Centenario Hospital
Miguel Hidalgo

COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN COMITÉ DE INVESTIGACIÓN

CEI-CI/195/25

Aguascalientes, Ags., a 29 de Octubre del 2025

DR. LUIS MIGUEL SORIA IBARRA
INVESTIGADOR RESPONSABLE
PRESENTE:

En cumplimiento con las Buenas Prácticas Clínicas y la Legislación Mexicana vigente en materia de Investigación clínica, el Comité de Investigación y de Ética en Investigación del Centenario Hospital Miguel Hidalgo, han decidido **A P R O B A R** el proyecto de investigación para llevar a cabo en esta Institución, titulado:

"Análisis radiográfico del balance espinopélvico en pacientes con espondilolistesis degenerativa lumbar tratados con fusión intersomática y fusión posterolateral"

Autores:
DR. DANIEL EUDAVE SANTOS

En virtud de que se cumplió con los requisitos establecidos por ambos comités por cual se otorga el número de registro: 2025-R-64
Con tiempo de vigencia: 6 meses de octubre de 2025 a abril de 2026

Sin otro particular, se solicita a los investigadores ajustarse a su periodo de vigencia del proyecto, reportar avance del proyecto de forma semestral en el mes de diciembre mediante el formato de "Avances de protocolos" y al concluirse, reportar estado del estudio, incidencias y eventos, además entregar resumen de resultados obtenidos y de los productos generados.

ATENTAMENTE-

DR. SALVADOR ISRAEL MACIAS HERNANDEZ
ENCARGADO DE LA PRESIDENCIA DEL COMITÉ
DE INVESTIGACIÓN

DR. JAIME ASael LOPEZ VALDEZ
PRESIDENTE DEL COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN
VOCAL SECRETARIO DEL COMITÉ DE INVESTIGACIÓN



EOAV/SIM/JALV/DGPG*



449 9 94 67 20

www.lsega.gob.mx

Av. Manuel Gómez Morán S/N, Col. Estación Alameda
C.P. 20259, Aguascalientes, Ags.





Aguascalientes
Centro de trabajo y soluciones
El signo de México
ESTABLECIMIENTO DEL ESTADO 1923-2023

Centenario Hospital
Miguel Hidalgo

Aguascalientes, Aguascalientes a 30 de Octubre de 2025

DR. EDWIN OSWALDO VARGAS ÁVILA
DIRECTOR DEL ÁREA DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN
CENTENARIO HOSPITAL MIGUEL HIDALGO

PRESENTE

Por medio de la presente, informo a ustedes que el médico residente de cuarto año de posgrado de Traumatología y Ortopedia del Centenario Hospital Miguel Hidalgo, Daniel Eudave Santos se le autoriza realizar en el área de Traumatología y Ortopedia la aplicación del protocolo titulado:

"ANÁLISIS RADIOGRÁFICO DEL BALANCE ESPINOPÉLVICO EN PACIENTES CON ESPONDILOLISTESIS DEGENERATIVA LUMBAR TRATADOS CON FUSIÓN INTERSOMÁTICA Y FUSIÓN POSTEROLATERAL"

Me permito informar que, una vez leído y corregido el documento, considero que llena los requisitos para ser aceptado. Sin más por el momento aprovecho para hacerles llegar un cordial saludo.

ATENTAMENTE

DR. LUIS MIGUEL SORIA IBARRA
TUTOR DE TESIS



449 9 94 67 20

www.isea.gob.mx

Av. Manuel Gómez Morán S/N
Fracc. Alameda, C.P. 20259





"ANÁLISIS RADIOGRÁFICO DEL BALANCE ESPINOPÉLVICO EN PACIENTES CON ESPONDILOLISTESIS DEGENERATIVA LUMBAR TRATADOS CON FUSIÓN INTÉRSOMÁTICA Y FUSIÓN POSTEROLATERAL"

ATENTAMENTE



DIRECCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN

[Handwritten signature of Dr. Edwin Loswaldo Vargas Ávila]

DR. EDWIN LOSWALDO VARGAS ÁVILA
DIRECTOR DEL ÁREA DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN
CENTENARIO HOSPITAL MIGUEL HIDALGO

DR. SALVADOR ISRAEL MACÍAS HERNÁNDEZ
ENCARGADO DE LA PRESIDENCIA DEL COMITÉ DE INVESTIGACIÓN
CENTENARIO HOSPITAL MIGUEL HIDALGO

DR. ANGEL MARTÍNEZ HERNÁNDEZ
JEFE DE DEPARTAMENTO DE TRAUMATOLOGÍA Y ORTOPEDIA
CENTENARIO HOSPITAL MIGUEL HIDALGO

DR. LUIS GABRIEL ORTIZ DÍAZ
PROFESOR TITULAR DE POSGRADO DE TRAUMATOLOGÍA Y ORTOPEDIA
CENTENARIO HOSPITAL MIGUEL HIDALGO

DR. LUIS MIGUEL SORÍA IBARRA
ASESOR DE TESIS
CENTENARIO HOSPITAL MIGUEL HIDALGO



449 9 94 67 20

www.asea.gob.mx

Av Manuel Gómez Morán S/N
Fracc. Alameda, C.P. 20259



GOBIERNO DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES

Aguascalientes, Ags. a 29 de Octubre de 2025

CARTA DE VOTO APROBATORIO

MTRO. EN FARM. SERGIO RAMÍREZ GONZÁLEZ
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS DE LA SALUD

PRESENTE

Por medio del presente como ASESOR designado del estudiante DANIEL EUDAVE SANTOS con ID: 126877 quien realizó el trabajo de tesis titulado:

"ANÁLISIS RADIOGRÁFICO DEL BALANCE ESPINOPÉLVICO EN PACIENTES CON ESPONDILOLISTESIS DEGENERATIVA LUMBAR TRATADOS CON FUSIÓN INTERSOMÁTICA Y FUSIÓN POSTEROLATERAL"

un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en la fracción IX del Artículo 43 del Reglamento General de Posgrados, doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el VOTO APROBATORIO, para que él pueda continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

DR. LUIS MIGUEL SORIA IBARRA
TRAUMATOLOGÍA Y ORTOPEDIA
CENTENARIO HOSPITAL MIGUEL HIDALGO

"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., 30 de Octubre de 2025

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Coordinación del Programa de Posgrado



El gigante
de la Salud

Centenario Hospital
Miguel Hidalgo

GOBIERNO DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES

Aguascalientes, Ags, a 30 de octubre de 2025

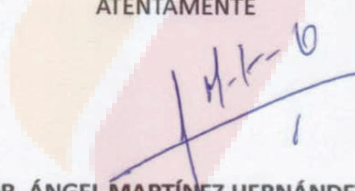
MTRO. EN FARM. SERGIO RAMÍREZ GONZÁLEZ
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS DE LA SALUD
PRESENTE

Por medio de la presente, hago de su conocimiento que el **Dr. Luis Miguel Soria Ibarra**, cirujano de columna y médico adscrito al servicio de Traumatología y Ortopedia del Centenario Hospital Miguel Hidalgo, ha sido designado como asesor del residente **Daniel Eudave Santos**, con matrícula ID: **126877**, quien realiza la tesis titulada:

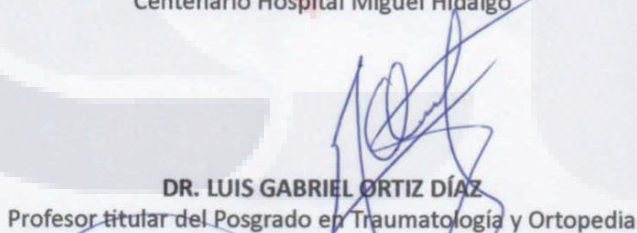
"ANÁLISIS RADIOGRÁFICO DEL BALANCE ESPINOPÉLVICO EN PACIENTES CON ESPONDILOLISTESIS DEGENERATIVA LUMBAR TRATADOS CON FUSIÓN INTERSOMÁTICA Y FUSIÓN POSTEROLATERAL"

Debido al área de estudio del tema de investigación, se considera que el Dr. Luis Miguel Soria Ibarra cuenta con la experiencia y conocimientos necesarios para el seguimiento, revisión y asesoría metodológica de la presente tesis, con Línea Generación y Aplicación del conocimiento: lesiones articulares, traumáticas y degenerativas, tratamiento y prevención de artrosis. Sin otro asunto particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

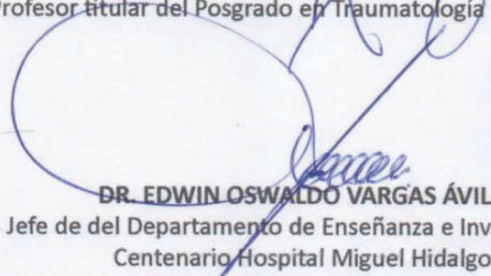
ATENTAMENTE




DR. ÁNGEL MARTÍNEZ HERNÁNDEZ
Jefe del Servicio de Traumatología y Ortopedia
Centenario Hospital Miguel Hidalgo



DR. LUIS GABRIEL ORTIZ DÍAZ
Profesor titular del Posgrado en Traumatología y Ortopedia



DR. EDWIN OSWALDO VARGAS ÁVILA
Jefe de del Departamento de Enseñanza e Investigación
Centenario Hospital Miguel Hidalgo

 **El Gigante de México** | Centenario Hospital Miguel Hidalgo
M.S.P. DR. EDWIN OSWALDO VARGAS AVILA
DIRECTOR DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION CHMH
CED.PROF. 05400870 UMSNH
CED.PROF. M.S.P. 09664171 ICESST



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



Fecha de dictaminación dd/mm/aa: 04/02/2026

NOMBRE: EUDAVE SANTOS DANIEL ID 126877
ESPECIALIDAD: ORTOPEdia Y TRAUMATOLOGIA LGAC (del posgrado): LESIONES ARTICULARES, TRAUMATICAS Y DEGENERATIVAS, TRATAMIENTO Y PREVENCIÓN DE ARTROSIS
TIPO DE TRABAJO: (X) Tesis () Trabajo práctico
SEDE HOSPITALARIA: CENTENARIO HOSPITAL MIGUEL HIDALGO

TITULO: ANALISIS RADIOGRAFICO DEL BALANCE ESPINOPELVICO EN PACIENTES CON ESPONDILOLISTESIS DEGENERATIVA LUMBAR TRATADOS CON FUSION INTERSOMATICA Y FUSION POSTEROLATERAL

IMPACTO SOCIAL (señalar el impacto logrado): EVIDENCIA OBJETIVA PARA LA TOMA DE DECISIONES CLINICAS SOBRE EL BALANCE SAGITAL. OPTIMIZA DIAGNOSTICO BIOMECANICO Y MEJORA LOS RESULTADOS QUIRURGICOS FINALES MEDIANTE UN MEJOR ANALISIS DE LA PLANEACION PREOPERATORIA

INDICAR SI - NO - NA (No aplica) 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 Posgrado
SI Cumple con los requisitos señalados en el plan de estudios
SI Cuenta con los votos aprobatorios del comité tutorial
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 de la SECIHTI actualizado
SI 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 Sí X 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. EN FARM. SERGIO RAMÍREZ GONZÁLEZ

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

En cumplimiento con el Art. 136 fracción II, inciso g) del Reglamento General de Posgrado que a la letra señala: autorización de la persona titular del Decanato del Centro de Ciencias de la Salud.

PUBLICACIÓN DEL ARTÍCULO: **SARCOMA DE EWING PRIMARIO DE COLUMNA TORÁCICA: REPORTE DE UN CASO**. EN LA REVISTA CIRUGÍA DE COLUMNA, DE LA ASOCIACIÓN MEXICANA DE CIRUJANOS DE COLUMNA (AMCICO)

The screenshot shows a web interface for authors. At the top, there is a navigation menu with options: INICIO, GUARDADOS, PUBLICADOS, RECHAZADOS, MIS DATOS, and SALIR. The user is logged in as Daniel Eudave Santos. The main content area displays the journal name 'REVISTA CIRUGÍA DE COLUMNA' and a section titled 'Publicados / Por Publicar' with a 'Lista' button. Below this, a list of articles is shown, with the selected article highlighted in yellow. The article details are as follows:

Artículos

2027 - Numero: 2

PUBLICADO

Reporte de Caso Clínico

Sarcoma de Ewing primario de columna torácica: reporte de un caso

DETALLES

Recibido en: 2025-06-18 17:48:52 #AMCICO001070#

Estado: PUBLICADO

Reporte de Caso Clínico

TÍTULO

Sarcoma de Ewing primario de columna torácica: reporte de un caso

Título en inglés

Primary Ewing sarcoma of the thoracic spine: a case report

AUTORES

1. Nombre: Luis Miguel Soria Ibarra

Descargar MsWord Descargar todo PDF / ZIP

ÍNDICE GENERAL

Índice de tablas3

Índice de figuras.....3

Resumen4

Abstract.....5

1. INTRODUCCIÓN6

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA7

3. JUSTIFICACIÓN.....8

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Anatomía funcional de la columna lumbosacra9

4.2. Biomecánica del balance espinopélvico12

4.3. Parámetros del balance sagital: IP, SS, PT, LL, SA, DH13

4.4. Espondilolistesis degenerativa lumbar22

4.4.1. Definición y clasificación22

4.4.2. Etiología y factores predisponentes25

4.4.3. Manifestaciones clínicas27

4.4.4. Diagnóstico radiológico28

4.5. Tratamiento de la EDL

4.5.1. Tratamiento conservador de la EDL35

4.5.2. Tratamiento quirúrgico de la EDL37

4.5.3. Indicaciones y técnicas quirúrgicas38

4.5.4. Fusión posterolateral (PLF)38

4.5.5. Fusión intersomática transforaminal (TLIF).....39

4.6. Fusión posterolateral (FPL) versus fusión intersomática (TLIF) para el
tratamiento de la espondilolistesis degenerativa40

5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN43

6. HIPÓTESIS	44
7. OBJETIVO GENERAL	44
7.1. Objetivos específicos	44
8. METODOLOGÍA	
8.1. Diseño del estudio	44
8.2. Universo de trabajo	44
8.3. Criterios de elegibilidad	45
8.3.1. Criterios de inclusión	45
8.3.2. Criterios de exclusión	45
8.4. Variables	45
8.5. Definición de las variables	46
8.6. Cálculo de la muestra	47
8.7. Análisis de los datos	48
8.8. Aspectos éticos	49
8.9. Recolección de datos	49
8.10. Recursos	51
8.10.1. Recursos humanos	51
8.10.2. Recursos materiales	51
9. RESULTADOS	52
10. DISCUSIÓN	63
11. CONCLUSIONES	65
12. GLOSARIO.....	67
13. BIBLIOGRAFIA	69
14. ANEXOS	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de parámetros espinopélvicos normales.....	15
Tabla 2. Sistema de Clasificación de SRS-Schwab.....	20
Tabla 3. Definición de las variables del estudio.....	47
Tabla 4. Investigadores participantes.....	51
Tabla 5. Incidencia pélvica (PI).....	54
Tabla 6. Inclinação pélvica (PS).....	56
Tabla 7. Inclinação sacra (SS).....	57
Tabla 8. Lordosis lumbar (LL).....	59
Tabla 9. Discrepancia PI-LL.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Imágenes resonancia magnética simple de columna lumbar ponderada en T2. Cortes sagitales.....	9
Figura 2. Imagen de resonancia magnética simple de columna lumbar ponderada en T2, detalle en plano sagital del disco intervertebral L3-L4.....	11
Figura 3. Parámetros del balance espinopélvico.....	14
Figura 4. Comparación de balance espinopélvico y espondilolistesis.....	17
Figura 5. Clasificación de Meyerding.....	25
Figura 6. Radiografía y corte tomográfico de articulaciones facetarias.....	29
Figura 7. Radiografía y cortes de RMN representativos de espondilolistesis degenerativa lumbar asociada a quistes sinoviales facetarios.....	32
Figura 8. Radiografía y cortes tomográficos representativos de vacío discal.....	35
Figura 9. Gráfica de caja y bigotes de la incidencia pélvica.....	54
Figura 10. Gráfica de caja y bigotes de la inclinación pélvica.....	56
Figura 11. Gráfica de caja y bigotes de la inclinación sacra.....	58
Figura 12. Gráfica de caja y bigotes de la inclinación sacra.....	60
Figura 13. Gráfica de caja y bigotes de la discrepancia PI-LL.....	62

Resumen

La espondilolistesis degenerativa lumbar fue identificada como una patología frecuente en adultos mayores, caracterizada por el desplazamiento anterior de una vértebra debido a cambios degenerativos del disco intervertebral y de las articulaciones facetarias. Esta alteración generó dolor lumbar, síntomas neurológicos e inestabilidad segmentaria, afectando de manera significativa la calidad de vida. Para su manejo, diversas técnicas quirúrgicas de fusión espinal se utilizaron con el propósito de mejorar la estabilidad y la función.

No obstante, persistió controversia sobre cuál abordaje ofrecía mejores resultados en relación con la restauración del balance espinopélvico, elemento clave para un adecuado pronóstico postquirúrgico. El análisis radiográfico permitió evaluar parámetros como la lordosis lumbar, la incidencia pélvica y la versión pélvica, determinantes para mantener el equilibrio sagital.

El objetivo del estudio fue evaluar los cambios radiográficos en el balance espinopélvico en pacientes con espondilolistesis degenerativa lumbar, a quienes se les ha realizado un tratamiento quirúrgico a través de fusión intersomática y fusión posterolateral.

Se llevó a cabo un estudio observacional, retrospectivo y comparativo a partir de expedientes e imágenes radiográficas. Se analizaron mediciones preoperatorias y postoperatorias de lordosis lumbar, incidencia pélvica, versión pélvica y pendiente sacra. Los datos se procesaron mediante estadística descriptiva e inferencial, con un nivel de significancia de 0.05.

Los resultados mostraron que los pacientes tratados con fusión intersomática obtuvieron una restauración más efectiva de la lordosis lumbar y una reducción significativa de la versión pélvica, además de mayor estabilidad del segmento operado y disminución del dolor postquirúrgico. En contraste, la fusión posterolateral logró estabilizar el nivel vertebral, aunque con menor impacto en la corrección del balance sagital global.

Se concluyó que la fusión intersomática proporcionó mejores resultados en la restauración del balance espinopélvico, alcanzando parámetros cercanos a la alineación fisiológica y favoreciendo mejores resultados funcionales y clínicos en comparación con la fusión posterolateral.

Palabras clave: Espondilolistesis degenerativa, balance espinopélvico, dolor radicular, fusión intersomática transforaminal, fusión posterolateral.

Abstract

Degenerative lumbar spondylolisthesis has been identified as a common condition in older adults, characterized by the anterior displacement of a vertebra due to degenerative changes in the intervertebral disc and facet joints. This condition causes low back pain, neurological symptoms, and segmental instability, significantly impacting quality of life. Various spinal fusion surgical techniques have been used to manage this condition and improve stability and function.

However, controversy persisted regarding which approach offered the best results in terms of restoring spinopelvic balance, a key element for a favorable postoperative prognosis. Radiographic analysis allowed for the evaluation of parameters such as lumbar lordosis, pelvic tilt, and pelvic version, which are determinants for maintaining sagittal balance.

The objective of this study was to radiographically evaluate spinopelvic balance in patients with degenerative lumbar spondylolisthesis treated with interbody or posterolateral fusion, to determine which technique achieved better postoperative spinal alignment parameters. A retrospective, comparative, observational study was conducted using medical records and radiographic images. Preoperative and postoperative measurements of lumbar lordosis, pelvic tilt, pelvic version, and sacral slope were analyzed. Data were processed using descriptive and inferential statistics, with a significance level of 0.05.

The results showed that patients treated with interbody fusion achieved a more effective restoration of lumbar lordosis and a significant reduction in pelvic version, in addition to greater stability of the operated segment and decreased postoperative pain. In contrast, posterolateral fusion stabilized the vertebral level, although with less impact on the correction of overall sagittal balance.

It was concluded that interbody fusion provided better results in restoring spinopelvic balance, achieving parameters close to physiological alignment and promoting better functional and clinical outcomes compared to posterolateral fusion.

1. INTRODUCCIÓN

La espondilolistesis degenerativa lumbar (EDL), es una afección habitual en personas mayores, se manifiesta por el deslizamiento frontal, en el plano sagital, de una vértebra sobre otra. Esto se debe como resultado de la degradación del disco intervertebral y las articulaciones facetarias¹. Estos cambios degenerativos, con el tiempo, pueden ser una causa frecuente de lumbalgia en la consulta. Causando claudicación neurógena y sintomatología radicular, afectando seriamente la calidad de vida de las personas que la padecen².

En años recientes, en el ámbito de la cirugía de columna, se le ha dado mayor importancia al balance espinopélvico². Definiéndose como la relación entre la posición pélvica y la alineación de la columna en el plano sagital. Este balance se evalúa por medio de parámetros como: la incidencia pélvica PI, la inclinación pélvica PT, la inclinación sacra SS y la lordosis lumbar LL². En diversos estudios se ha documentado el impacto directo en la biomecánica y el equilibrio postural³. Una incorrecta alineación de tales parámetros se ha vinculado con peores resultados clínicos y mayor probabilidad de complicaciones postoperatorias, como pseudoartrosis o falla en la instrumentación, y por consecuencia, dolor^{2,3}.

En cuanto a las opciones de tratamiento quirúrgico para la EDL, con las que contamos en nuestro medio. Son dos enfoques los que predominan: la fusión intersomática, abarcando la vía posterior, transforaminal (TLIF), o posterior directa (PLIF), y la fusión posterolateral³. El propósito de ambas técnicas se centra en la estabilización del segmento vertebral impactado y el consiguiente alivio de los síntomas, bajo la premisa de: Sin movimiento "inestabilidad" no hay dolor. Sin embargo se han identificado diferencias en su capacidad para corregir la lordosis lumbar y realinear el balance sagital⁴. Pese a la literatura disponible, persiste un debate acerca de cuál técnica quirúrgica promueve la mejor restitución del alineamiento espinopélvico. Por lo que en el presente estudio prospectivo se analizó de manera radiográfica, de manera comparativa, pre y postquirúrgica, estas técnicas, pudiendo discernir de forma más precisa el impacto biomecánico de estas técnicas quirúrgicas en grupo de pacientes del Centenario Hospital Miguel Hidalgo.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La espondilolistesis degenerativa lumbar constituye una de las principales causas de dolor lumbar crónico e incapacidad funcional en la población adulta mayor, siendo la lumbalgia una de sus principales manifestaciones. Esta enfermedad origina por procesos degenerativos progresivos que afectan de manera inicial al disco intervertebral y posteriormente a las articulaciones facetarias. Causando una fractura por fatiga de la pars interarticularis de la vertebra afectada (Espondilolisis) lo que con el tiempo se traduce en un desplazamiento anterior de una vértebra sobre otra en el plano sagital. Dicho deslizamiento conduce a una pérdida de la estabilidad segmentaria y a una alteración de la biomecánica espinal. Lo que puede impactar de manera negativa en la calidad de vida de las personas.

El tratamiento quirúrgico continúa siendo la alternativa más efectiva para los casos en los que el tratamiento conservador no logra controlar los síntomas, debido a que estos no llegan a ser suficientes para estabilizar la deformidad. Entre las técnicas quirúrgicas de mayor uso en nuestro centro hospitalario destacan la fusión intersomática lumbar y la fusión posterolateral. Procedimientos que cuyo objetivo es restablecer la estabilidad mecánica y corregir el desbalance sagital. No obstante, a pesar de los avances técnicos y del refinamiento de los métodos de instrumentación, persiste el debate en torno a cuál de estas técnicas proporciona una mejor restauración del balance espinopélvico. Cuyos parámetros en la actualidad se consideran determinantes para la evaluación de los resultados funcionales a mediano y largo plazo.

El balance espinopélvico describe la relación armónica entre la curvatura lumbar, la inclinación pélvica y la incidencia pélvica. Su adecuada preservación se asocia con una mejor función postural, menor consumo energético y mayor satisfacción del paciente. Diversos estudios han demostrado que un desbalance sagital posterior a la cirugía puede condicionar dolor persistente. La sobrecarga en segmentos adyacentes y resultados clínicos subóptimos, incluso en presencia de una fusión sólida. Sin embargo, los hallazgos publicados respecto al grado de corrección y a la capacidad de cada técnica para restituir los parámetros espinopélvicos son heterogéneos y, en muchos casos, contradictorios.

Por lo tanto, ante la variabilidad de resultados en la literatura entre ambas técnicas quirúrgicas, vimos necesario realizar un análisis radiográfico comparativo que nos permitió evaluar de manera objetiva los cambios en el balance espinopélvico en pacientes con espondilolistesis degenerativa lumbar sometidos a fusión intersomática transforaminal (TLIF) y fusión posterolateral (FPL). La identificación de diferencias significativas entre ambos métodos contribuyó a optimizar la toma de decisiones quirúrgicas y a establecer pautas más precisas para la restauración de la alineación sagital en este grupo de pacientes.

3. JUSTIFICACIÓN

La espondilolistesis degenerativa lumbar es una de las enfermedades más comunes de la columna vertebral, especialmente en adultos mayores, y puede llegar a estar asociada a dolor crónico y limitación funcional. Si bien existen diversos tratamientos quirúrgicos con alta popularidad como: la fusión intersomática transforaminal (TLIF) y la fusión posterolateral (FPL) entre otros, los efectos de estos tratamientos sobre el balance espinopélvico no están suficientemente determinados en la literatura actual.

El balance espinopélvico, que hace referencia a cómo se relacionan la columna y la pelvis, resulta fundamental para el funcionamiento de la columna y para la adaptación de las cargas en el momento de sostener o moverse. La evaluación radiológica del balance espinopélvico permite visualizar de qué forma los tratamientos quirúrgicos pueden conllevar una alteración de la alineación de la columna y de la pelvis, modificando así la biomecánica y la calidad de vida del paciente.

Por otro lado, hay pocos trabajos que estén comparando "in situ" la fusión intersomática con la fusión posterolateral a través de la evaluación del balance espinopélvico. Por esta razón esta investigación se plantea como una forma de conseguir una comparación de cómo la fusión intersomática y la fusión posterolateral afectan sobre dicho balance espinopélvico y el paso posterior hacia la recuperación respecto a la funcionalidad o bienestar de los pacientes a largo plazo.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Anatomía funcional de la columna lumbosacra

La función principal de la columna lumbar es dar sostén al tórax y a las extremidades superiores, así como también a cualquier carga que soporten. Esta a su vez se transmiten hacia la pelvis y las extremidades inferiores¹. Para llevar a cabo estas funciones, la columna lumbar consta cinco vértebras lumbares. Estas se apilan formando un pilar fuerte, unidos entre ellas por los discos intervertebrales y por los ligamentos longitudinales anterior y posterior (Figura 1). La curvatura de la columna lumbar en lordosis otorga la capacidad de absorber cargas axiales dinámicas, a manera de rebote. A su vez, estas cargas axiales deforman la lordosis y esta energía es absorbida por los discos intervertebrales y los ligamentos longitudinales. Una vez que la carga axial ha cedido, regresa a su posición estática para restaurar la curvatura más vertical².

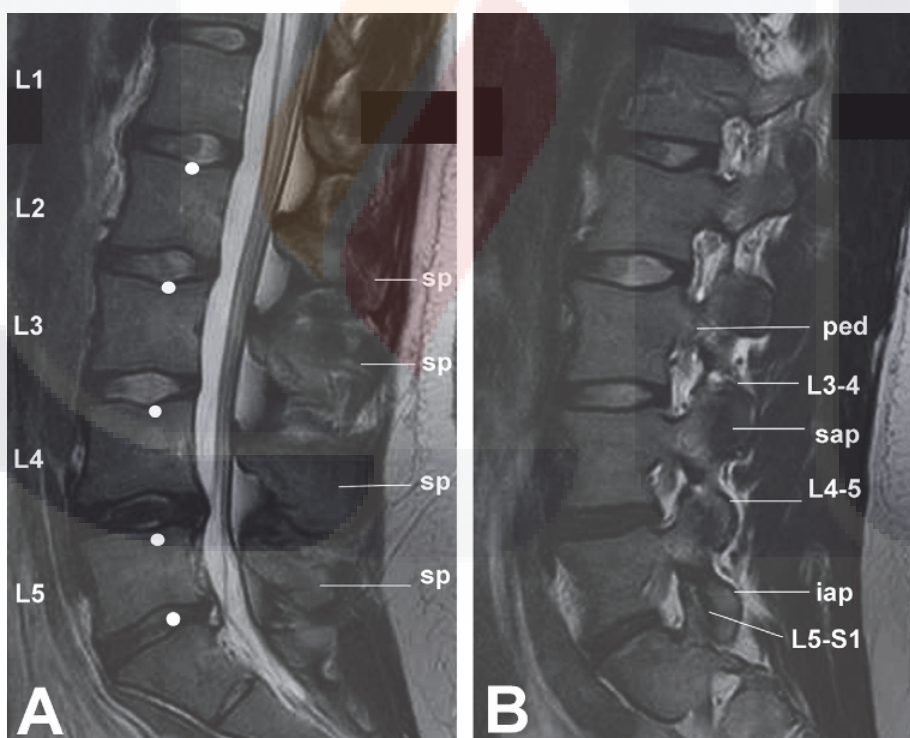


Figura 1. Imágenes resonancia magnética simple ponderada en T2 de columna lumbar. **A)** Corte sagital medial que permite visualizar los cuerpos vertebrales y las apófisis espinosas (sp). Los puntos blancos indican la posición aproximada de los ejes de rotación correspondientes a la vértebra superior. **(B)** Corte sagital más lateral que atraviesa los forámenes intervertebrales y las articulaciones facetarias (cigapofisarias) desde el nivel L3-L4 hasta L5-S1. Se

identifican las siguientes estructuras anatómicas: pedículo de L3 (ped), apófisis articular superior de L4 (sap) y apófisis articular inferior de L5 (iap). Imagen obtenida de: Bogduk N. Functional anatomy of the spine. Handb Clin Neurol. 2016.

Los discos intervertebrales lumbares están diseñados para soportar cargas de compresión. Cada uno consta de un núcleo pulposo, rodeado por un anillo fibroso y cubierto, superior e inferiormente por una placa terminal vertebral, que une el disco al cuerpo vertebral adyacente. El anillo fibroso está formado por capas concéntricas de fibras de colágeno, en las que las fibras de cada capa discurren paralelas, a unos 60° del eje longitudinal de la columna vertebral².

La compresión axial es amortiguada en su mayoría por las capas concéntricas del anillo fibroso (Figura 2). Aún así, el anillo tiende a deformarse por estrés de la carga, tanto en sentidos laterales, anterior y posterior. Esta deformidad es aún mejor resistida por el núcleo pulposo hidrostático. Cuando el núcleo se comprime, ejerce una presión radial que refuerza y endurece el anillo, impidiendo así su deformación. Los discos permiten un pequeño rango de flexión-extensión (aproximadamente 13° por segmento, en la columna lumbar). Esto significa que durante la flexión, el anillo fibroso del lado hacia el que se produce el movimiento se comprime ligeramente, por el contrario, el del lado opuesto se estira³.

Este mecanismo también brinda estabilidad rotacional a la columna, el cual depende en gran medida de los elementos posteriores de las vértebras lumbares. Los cuales, anatómicamente, forman un arco que toma como base los pedículos de cada vértebra, que son elementos óseos más fuertes y que provienen de la superficie posterior superior de cada cuerpo vertebral. Los pedículos sirven para transmitir fuerzas desde los elementos posteriores a los cuerpos vertebrales, que controlan la posición o los movimientos de estos³.

La estructura de arco se completa con dos laminas, una izquierda y otra derecha que se unen en la línea media por la apófisis espinosa. Así como también, de la unión entre el pedículo y la lámina, surge a cada lado una apófisis transversa. Estas apófisis actúan como palancas a las que se insertan músculos que controlan los movimientos vertebrales⁴.

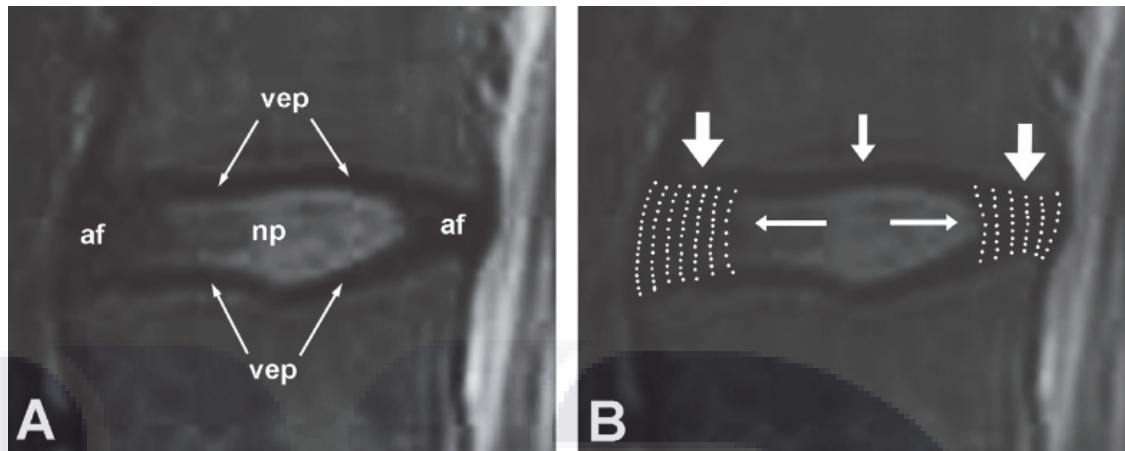


Figura 2. Imagen de resonancia magnética simple de columna lumbar ponderada en T2, detalle en plano sagital del disco intervertebral L3-L4. **(A)** Identificación anatómica de los componentes principales del disco intervertebral: núcleo pulposo (np), anillo fibroso (af) y placa terminal vertebral (vep). **(B)** Representación esquemática de la biomecánica discal. Las cargas de compresión axial son absorbidas principalmente por las láminas concéntricas de colágeno del anillo fibroso. Durante la compresión, el núcleo pulposo genera una presión radial que estabiliza el anillo, evitando su deformación estructural bajo carga.

Las láminas, en sus porciones laterales, tanto superior como inferior, cada una posee una apófisis articular superior e inferior. Las apófisis articulares superiores se encardan de proporcionar soporte cranealmente y unirse con las apófisis articulares inferiores para formar las articulaciones cigoapofisiarias. Las cuales mantienen una orientación paralela al eje longitudinal de la columna lumbar. Por lo tanto, durante la flexión de la columna lumbar, las apófisis articulares inferiores se deslizan fuera de la cavidad que forman junto con las apófisis articulares superiores. Este movimiento es limitado gracias las cápsulas articulares⁴.

El movimiento de cada segmento vertebral se encuentra primariamente en el en el disco intervertebral, debajo de la vértebra móvil, por lo que sólo una pequeña cantidad de traslación es permitida por cada grado de rotación de la vértebra móvil⁴. A medida que las apófisis articulares inferiores se desplazan, se separan de la apófisis articular superior, lo que equivale a subluxar parcialmente la articulación.

Si observamos este mecanismo desde una vista axial, las articulaciones cigapofisarias de las vértebras lumbares presentarían de manera abstracta diversas formas: planas, en forma de C o en forma de J, que se corresponden de acuerdo a las funciones principales estas articulaciones. Las articulaciones planas se orientan esencialmente en dirección medial y posterior. Las articulaciones en forma de C tienen un extremo anterior orientado posteriormente y un extremo posterior orientado medialmente. Las articulaciones en forma de J tienen un labio anterior pequeño orientado posteriormente y una superficie mayor orientada medialmente. En estudios biomecánicos se ha observado que las superficies orientadas medialmente sirven para resistir de mejor manera la rotación axial de las vértebras. Al realizar el movimiento de rotación axial, se desplaza la apófisis articular inferior lateralmente, y este movimiento a su vez es limitado por la apófisis articular superior opuesta. En resumen, el rango de movilidad se ve limitado a 2° aproximadamente o menos por segmento. Las superficies orientadas posteriormente sirven para resistir el desplazamiento en un sentido antero posterior de la vertebra (listesis)⁵.

La carga axial de una apófisis articular inferior en contra de su apófisis articular superior tiende a forzar la apófisis inferior hacia atrás y a levantar la lámina de la que proviene. Como un mecanismo de elevadiza, por lo que, esta tendencia genera tensión entre la unión de la lámina y su pedículo. Este mecanismo, durante la rotación axial, de manera repetitiva condiciona, fracturas por estrés de la pars interarticularis (Espondilolisis)⁵.

4.2. Biomecánica del balance espinopélvico

La morfología y la orientación sacropélvica sagital modulan la geometría de la columna lumbar y, en consecuencia, las tensiones mecánicas en la unión lumbosacra. En la última década, se ha demostrado claramente que la morfología sacropélvica, combinada con la presencia de una deformidad lumbosacra local y displasia, puede resultar en una orientación sacropélvica anormal, así como en una alteración del equilibrio sagital global de la columna.

Estos hallazgos tienen importantes implicaciones para la evaluación y el tratamiento de pacientes con espondilolistesis, especialmente para aquellos con un deslizamiento de alto grado. En la controversia actual sobre si las deformidades de alto grado deben o no reducirse, estos hallazgos proporcionan una justificación convincente para reducir y realinear la deformidad, con el fin de restaurar el equilibrio espinopélvico global y mejorar el entorno biomecánico para la fusión⁶. Esto ha estimulado un renovado interés por la evaluación radiológica y la clasificación de la espinopélvica⁷.

4.3. Parámetros del balance sagital: IP, SS, PT, LL.

La inclinación pélvica, descrita por Wiles, identifica la orientación de la pelvis respecto al plano horizontal, la cual puede variar en una misma persona según la postura⁸. Legaye et al⁹. propusieron un parámetro pélvico morfológico fundamental y algunos parámetros pélvicos posicionales (Figura 3).

La incidencia pélvica (IP) se define como el ángulo entre una línea perpendicular a la placa sacra en su punto medio y una línea que conecta este punto con el centro de las cabezas femorales (eje bicoxofemoral). La incidencia pélvica es un parámetro anatómico fundamental que es independiente de la orientación espacial de la pelvis; es decir, el valor angular no se ve afectado por los cambios en la postura humana y permanecerá igual ya sea que un sujeto esté de pie, sentado o acostado. Es único para cada individuo y es independiente de la edad una vez que se completa el crecimiento, con el supuesto de que no hay movimiento sustancial en las articulaciones sacroilíacas⁹.

La pendiente sacra (SS) se define como el ángulo que se forma entre la plataforma vertebral superior de S1 y la línea del eje horizontal del cuerpo. La pendiente sacra es un parámetro posicional; su valor es bajo en posiciones verticales del sacro y alto en posiciones horizontales⁹.

La inclinación pélvica(PT) se define como el ángulo entre la línea que une el punto medio del platillo superior de S1 con el eje bicoxofemoral y una línea vertical al eje corporal. La inclinación pélvica es un parámetro posicional; su valor es alto en posiciones verticales del sacro, como en una persona con pelvis en

retroversión, y bajo en posiciones horizontales del sacro, como en una persona con pelvis en anteversión¹⁰.

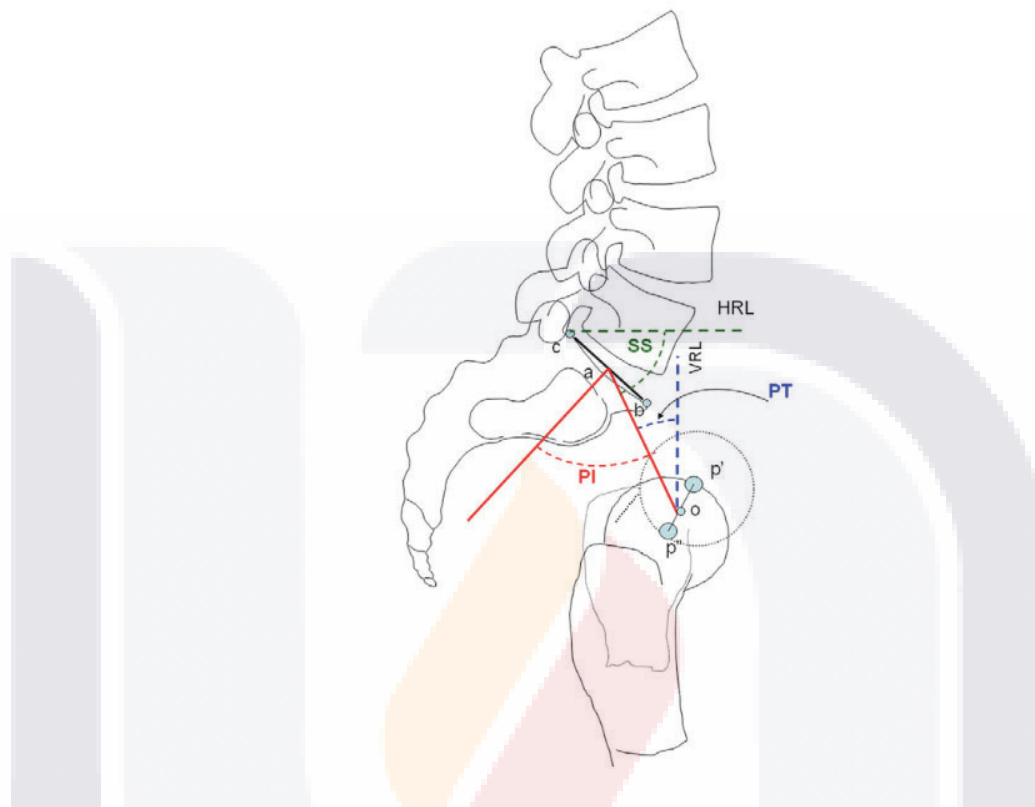


Figura 3. Parámetros espinopélvicos: incidencia pélvica (PI), inclinación pélvica (PT) y la inclinación sacra (SS). El punto **a** es el punto medio de la placa sacra terminal (líneas **b-c**). El punto **o** es el centro de la línea que une **p'** y **p''**, que se encuentra en el centro de la cabeza femoral en la radiografía lateral cuando las cabezas femorales no están superpuestas. **VRL** = línea de referencia vertical, **HRL** = línea de referencia horizontal. Obtenida de: Sengupta DK. Spinopelvic Balance. JBS Rev. 2014 Aug 19;2(8):e4. doi: 10.2106/JBJS.RVW.M.00115. PMID: 27490076.

Una construcción geométrica con el uso de ángulos complementarios revela que el parámetro anatómico de la incidencia pélvica es la suma algebraica de la pendiente sacra y la inclinación pélvica (incidencia pélvica = pendiente sacra + inclinación pélvica). La dispersión de los parámetros posicionales de la pendiente sacra y la inclinación pélvica para cualquier morfología pélvica particular (es decir, la incidencia pélvica) varía según la orientación de la pelvis en el plano sagital. De hecho, la pendiente sacra influye con mayor fuerza en el equilibrio espinal por encima del nivel de la pelvis (es decir, las curvaturas espinales). Por el contrario, la inclinación pélvica influye en el equilibrio por debajo del nivel de la

pelvis (es decir, el ángulo de las articulaciones coxofemorales en postura erguida)¹⁰.

La distribución del ángulo de incidencia pélvica en la pendiente sacra y la inclinación pélvica se analizará con más detalle en la sección sobre espondilolistesis. La lordosis lumbar es un parámetro espinal. Existe una estrecha relación entre la incidencia pélvica y la pendiente sacra que determina fuertemente la lordosis lumbar, como se describe más adelante^{7,9}.

Estudios de Legaye et al.⁹, los parámetros pélvicos han sido ampliamente estudiados por múltiples autores. Un gran estudio multicéntrico que involucró a 149 adultos sanos sin trastornos espinales (incluidos setenta y ocho hombres y setenta y una mujeres con edades comprendidas entre diecinueve y cincuenta años), Boulay et al.¹⁰ presentaron una base de referencia para los parámetros pélvicos basados en radiografías laterales de columna completa realizadas con los pacientes en una posición vertical estandarizada (Tabla 1).

Valores de referencia base de los parámetros posicionales y morfológicos en el balance espinopélvico	
Lordosis lumbar (LL)	66.36 ± 9.47
Inclinación sacra (SS)	41.18 ± 6.96
Inclinación pélvica (PT)	11.96 ± 6.44
Incidencia pélvica (PI)	53.13 ± 9.04

Tabla 1. Los valores se dan como media y desviación estándar para el rango de 149 individuos normales en el estudio de Boulay et.al. Boulay C, Tardieu C, Hecquet J, Benaim C, Mouilleseaux B, Marty C, Prat-Pradal D, Legaye J, Duval-Beaupe`reG,Pe`lissierJ.Sagittal alignment of spine and pelvis regulated by pelvic incidence: standard values and prediction of lordosis. Eur Spine J. 2006 Apr;15 (4):415-22. Epub 2005 Sep 23.

Vínculo entre la degeneración espinal lumbar y la alineación espinopélvica

Revisiones sistemáticas en las literatura sugieren la existencia de una clara relación entre la degeneración espinal lumbar y la alineación espinopélvica. Las cuales destacan parones de asociacion entre los parámetros espinopélvicos y el síndrome degenerativo espinal. Se identificó que en los casos de degeneración

discal se agrupaban pacientes con una alineación vertical bastante recta, es decir, con una SS y una LL bajas.

El PT tiende a tener una relación menos clara, pero opuesta, con la hernia y la degeneración discal. Esta tendencia a un PT elevado podría deberse a una adaptación postural compensatoria para limitar la traslación del eje de gravedad hacia la parte anterior). Asimismo, la mayor prevalencia de patologías discales observada con un Eje vertical sagital (*Sagittal Vertical Axis, SVA*) aumentado lo cual podría ser un signo de una postura adaptada del tronco superior para el alivio del dolor, más que una causa directa de la tendencia degenerativa. Por ejemplo, si la hernia discal comprime las raíces nerviosas, inclinarse hacia adelante podría reducir el dolor resultante¹¹. Esto se ve respaldado por el hecho de que este tipo de desequilibrio sagital suele recuperarse rápidamente tras la cirugía de espondilodesis.

La degeneración de las estructuras posteriores y la espondilolistesis, se observó principalmente en pacientes con una configuración pélvica opuesta, es decir, una columna vertebral más curvada y, concretamente, un PT alto, una SS alta y una LL alta. La tendencia a una mayor inclinación pélvica podría parecer contraria a lo esperado debido a que la retroversión puede ser un mecanismo compensatorio a la traslación anterior del centro de gravedad. Algo que no se esperaría necesariamente con una inclinación pélvica alta como adaptación postural¹¹.

Lumbar spondylolisthesis
is associated with...

	Significantly smaller	Tendentially smaller	No difference	Tendentially larger	Significantly larger	
	5% (1 / 21)	5% (1 / 21)		29% (6 / 21)	62% (13 / 21)	
		4% (1 / 23)		13% (3 / 23)	83% (19 / 23)	
		5% (1 / 21)	5% (1 / 21)	43% (9 / 21)	48% (10 / 21)	
	5% (1 / 19)	5% (1 / 19)		32% (6 / 19)	58% (11 / 19)	
	30% (3 / 10)	30% (3 / 10)		20% (2 / 10)	20% (2 / 10)	
	17% (1 / 6)		17% (1 / 6)	33% (2 / 6)	33% (2 / 6)	

Figura 4. Tabla comparativa de un análisis sistemático donde se muestra el vínculo de los parámetros espinopélvicos y la espondilistesis. El 62 % de las investigaciones que analizaron el ángulo sacro en enfermos con espondilolisthesis hallaron un ángulo sacro considerablemente más alto en los pacientes con esta condición. Hasta el 83 % de las publicaciones reportaron que los pacientes presentaban una incidencia más alta de inclinación pélvica que los controles sanos. Se notó una tendencia parecida, aunque no tan notable, para la lordosis lumbar y la inclinación pélvica. En el eje vertical sagital, en dos tercios de las publicaciones relevantes se observaron valores más altos en el grupo de caso. Tomada de: Fasser MR, Furrer PR, Fislser L, Urbanschitz L, Snedeker JG, Farshad M, Widmer J. The triadic relationship between spinal posture, loading, and degeneration. *Front Bioeng Biotechnol.* 2025 Mar 18;13:1444540. doi: 10.3389/fbioe.2025.1444540. PMID: 40171041; PMCID: PMC11959076

La tendencia a un aumento del PT sugiere, por lo tanto, que se trata de un mecanismo directo de alivio de las articulaciones facetarias, más que de una medida compensatoria. Los niveles lumbares más comúnmente afectados por las

patologías degenerativas son los más caudales, que están expuestos a las cargas más elevadas. Las tendencias observadas indican que las configuraciones con placas terminales más alineadas horizontalmente probablemente estén expuestas a una menor amortiguación y a mayores fuerzas de compresión relativas. Esto, a su vez, podría inducir mayores tensiones en los discos intervertebrales, lo que en última instancia facilitaría su degeneración¹².

Por otro lado, una columna lumbar más curvada y vértebras muy inclinadas podrían exponer las estructuras espinosas a una mayor carga de cizallamiento y provocar la degeneración de las facetas y al desarrollo de espondilolistesis. Con una mayor inclinación sacra, existe una mayor fuerza de cizallamiento y tracción vertebral ventral y, con una alineación más plana, el componente de presión sobre el disco vertebral es dominante. Sin embargo, es probable que las fuerzas de cizallamiento no sean absorbidas exclusivamente por las estructuras posteriores, y las fuerzas de compresión probablemente no sean absorbidas únicamente por el disco intervertebral¹³. Un estudio reciente encontró que, en pacientes con espondilólisis, el grado de listesis aumenta con la degeneración del disco, lo que sugiere un cierto nivel de absorción de la fuerza de cizallamiento por parte del disco.

Descriptores de la alineación global, como la clasificación de Roussouly y la puntuación de alineación y proporción global (GAP)¹³, se han convertido en parámetros valiosos para caracterizar la alineación espinal global y predecir complicaciones postoperatorias. Sin embargo, el estudio aislado de parámetros regionales (excepto la SVA) puede ser de utilidad para describir un panorama más integral y complejo de la alineación espinal¹⁴.

Clasificación SRS-Schwab de las deformidades espinales del adulto

El concepto de deformidad espinal en adultos barca un amplio grupo de patologías de la columna vertebral la cual puede manifestarse en diferentes presentaciones clínicas así como también en su clasificación radiográfica compleja, la cual incluye deformidad como escoliosis, cifosis o ambas. Las deformidad espinal del adulto, presenta una prevalencia cercana al 60% en

adultos mayores de 65 años⁶⁸. Aunque la prevalencia real en diversas poblaciones se considera aún desconocida. Una de las principales manifestaciones clínicas es el dolor, que a diferencia de las deformidades espinales de la infancia o de la adolescencia suelen ser asintomáticas¹⁵.

De manera general, en las deformidad espinales, se ha puesto un especial énfasis en su estudio, al concepto de la alineación sagital, ya que se considera que este parámetro radiográfico es el que se ha sido mayormente asociado con el dolor¹⁶. En el 2005 surge por primera vez un sistema de clasificación elaborado por Aebi et. al. en el cual se agrupaban las deformidades espinales de acuerdo a su etiología. Lo cual simplificaba su clasificación sin embargo no aportaba de manera significativa a la planificación preoperatoria ni a la toma de decisiones quirúrgicas¹⁷.

Posteriormente en el año 2006, Schwab et al.¹⁸ desarrollaron un sistema basado en los parámetros radiográficos los cuales se correlacionaban con los resultados informados por los pacientes, sin embargo este sistema resulto de utilidad únicamente para la clasificación de las escoliosis idiopáticas en el adulto. En su estudio de manera inicial se incluyeron 947 pacientes adultos, los cuales fueron agrupado en cinco tipos de curvatura de acuerdo al vertice de la deformidad y dos modificadores (lordosis lumbar y subluxación). En ese mismo año la Sociedad de Investigación de la Escoliosis (SRS) publica un sistema de clasificación descriptivo con siete tipos de curvas y tres modificadores en los cuales se incluían la alineación sagital regional, la degeneración lumbar y la alineación sagital global¹⁹. Este sistema se considero principalmente descriptivo y no consideraba parámetros clínicos, por lo que resultava poco práctico en la consulta diaria.

En 2012, Schwab y la SRS publicaron un sistema de clasificación híbrido, la clasificación SRS-Schwab²⁰, el cual es más similar a la clasificación inicial de Schwab. Sin embargo esta clasificación agregó parámetros radiográficos pélvicos como: la incidencia pélvica, la lordosis lumbar, la inclinación pélvica y el eje vertical sagital. Se integraron ya que de esta manera se justificaba que

la alineación pélvica esta relacionada con la alineación sagital global de la columna vertebral, y que por lo tanto los parámetros espinopélvicos postoperatorios podían estar estrechamente relacionados con el dolor y la capacidad funcional referidos por los pacientes.

Tipos de curva coronal	Modificadores sagitales
<p>T: Curva torácica únicamente, acompañada de una curva lumbar menor de 30°</p>	<p>Incidencia pélvica menos lordosis lumbar (PI-LL) 0: dentro de 10° +: moderada, entre 10° y 20° ++: marcada, superior a 20°</p>
<p>L: Curva toracolumbar o lumbar aislada, con curva torácica menor de 30°</p>	<p>Eje vertical sagital (alineación global) 0: menor de 4 cm +: entre 4 y 9.5 cm ++: superior a 9.5 cm</p>
<p>D: Curva doble, con deformidades torácica y toracolumbar/lumbar mayores de 30°</p>	<p>Inclinación pélvica (PT) 0: menor de 20° +: entre 20° y 30° ++: mayor de 30°</p>
<p>N: Sin deformidad coronal significativa; todas las curvas coronales menores de 30°</p>	<p>—</p>

Tabla 2. Sistema de Clasificación de SRS-Schwab. Tomado de: Schwab F, Ungar B, Blondel B, Buchowski J, Coe J, Deinlein D, DeWald C, Mehdian H, Shaffrey C, Tribus C, Lafage V. Scoliosis Research Society-Schwab adult spinal deformity classification: a validation study. Spine. 2012;37:1077–1082.

El sistema de clasificación SRS-Schwab (Tabla 2) utiliza espinogramas AP y lateral en los cuales se dividen los tipos de curva en el plano coronal y los modificadores de la curva en el plano sagital. Los tipos de curva coronal se clasifican de la siguiente manera: Tipo de curva T: curva mayor torácica > 30°

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

(nivel apical de T9 o superior); Tipo de curva L: curva mayor lumbar o toracolumbar $> 30^\circ$ (nivel apical de T10 o inferior); Tipo de curva D: doble curva mayor, cada una $> 30^\circ$; Tipo de curva N: curva coronal normal o sin curva $> 30^\circ$ (es decir, sin deformidad coronal importante).

El primer modificador sagital considera dos parámetros radiográficos: la incidencia pélvica y la lordosis lumbar, para calcular la diferencia entre ambos. Esta medición es importante para la planificación quirúrgica de pacientes con una lordosis lumbar baja en relación con su incidencia pélvica, con el fin de lograr una alineación lumbar posoperatoria adecuada⁷². La lordosis lumbar es la medición del ángulo de Cobb sagital entre la placa terminal superior de S1 y la placa terminal superior de L1. La incidencia pélvica es el ángulo entre el eje perpendicular al punto medio de la placa terminal sagital y una línea que va desde el punto medio del punto terminal sagital hasta el eje bicoxofemoral²⁰. Los pacientes se clasifican con un modificador de incidencia pélvica menos lordosis lumbar "0" si la discrepancia es $< 10^\circ$, modificador "+" si está entre 10° y 20° , y modificador "++" si es $> 20^\circ$ ²¹.

La inclinación pélvica es otro modificador sagital importante de medir, ya que una inclinación pélvica alta refleja un mecanismo compensatorio que reduce la alineación sagital global aparente. Los pacientes con mayor inclinación pélvica a menudo necesitan correcciones más extensas (osteotomías) para reducir el riesgo de fracasos postoperatorios²². La inclinación pélvica evalúa el grado de retroversión midiendo el ángulo entre la línea que va desde el punto medio del platillo sacro hasta el eje bicoxofemoral y el eje vertical que pasa por dicho eje. Los pacientes se clasifican con el modificador de inclinación pélvica "0" si la medición es $< 20^\circ$, modificador "+" si está entre 20° y 30° , y modificador "++" si la inclinación pélvica es $> 30^\circ$ ²².

El último grupo de modificadores sagitales es el modificador de alineación global, que se basa en el eje vertical sagital. Un aumento en el eje vertical

sagital se asocia con mayor dolor y discapacidad⁷² y se define como la distancia entre la esquina posterosuperior del sacro y la línea plomada sagital de C7. Los pacientes se clasifican con un modificador del eje vertical sagital "0" si la medida es < 40 mm, un modificador "+" si es de 40 a 95 mm y un modificador "++" si es > 95 mm²³.

4.4. Espondilolistesis degenerativa lumbar

4.4.1. Definición y clasificación

La espondilolistesis se define como un desplazamiento en el plano sagital, donde un cuerpo vertebral se desliza en sentido anterior a posterior sobre una vértebra subyacente. Esta alteración anatómica de la columna vertebral puede deberse a distintas etiologías: puede ser de origen traumático, displásico o patológico. Esta alteración compromete estructura y la estabilidad del cuerpo vertebral, por lo que se asocia con procesos degenerativos crónicos²⁴.

La espondilolistesis degenerativa (ED) se considera una enfermedad degenerativa que suele afectar mas a pacientes del sexo femenino. Hay distintas hipótesis donde se menciona que esta asociación se debe a una mayor laxitud de los ligamentos como a otros factores hormonales. La mayoría de los casos de espondilolistesis degenerativa son de bajo grado y se clasifican como grado I o II de Meyerding²⁴. Puede observarse dolor lumbar y en las extremidades inferiores debido al deslizamiento y la degeneración discal focal, así como al pinzamiento nervioso y la consiguiente estenosis espinal²⁵.

Existen numerosas otras etiologías de la espondilolistesis, además de los subtipos ístmico y degenerativo. Una etiología menos frecuente de la espondilolistesis incluye la espondilolistesis displásica (es decir, congénita), que

se debe a una anomalía congénita de la pars interarticularis que posteriormente resulta en una translocación discal anterior temprana, más comúnmente en L5-S1. El deslizamiento discal temprano también puede provocar espondilólisis debido al aumento de la tensión en la pars interarticularis. La enfermedad congénita suele ser multifactorial y empeora con los movimientos repetitivos de la zona lumbar²⁵. La espondilolistesis traumática es causada por un traumatismo que fractura una parte de la columna vertebral posterior además de la pars, y suele coexistir con otras lesiones. La espondilolistesis patológica es similar a la traumática, pero se debe a una infección, una neoplasia, autoinmunidad u otra patología no relacionada con el traumatismo. La espondilolistesis iatrogénica puede causar todas las variantes mencionadas de la enfermedad y suele ocurrir tras una descompresión espinal extensa (laminectomía). Este procedimiento puede provocar desestabilización de las vértebras, con el consiguiente deslizamiento del disco²⁶.

La espondilolistesis degenerativa (ED) provocada por el deslizamiento de un cuerpo vertebral sobre el inferior debido a cambios degenerativos, con un arco neural intacto, lo que resulta en estenosis espinal y una manifestación típica de claudicación neurogénica, con o sin dolor lumbar²⁷. Un análisis sistemático ha demostrado que la prevalencia de espondilolistesis degenerativa es muy específica según la edad y el género²⁷. La proporción entre mujeres y hombres es de 6:1, lo que parece ser común en personas mayores de 50 años. Kobayashi et al.^{26,27} informaron una prevalencia de SD del 2,1 % en hombres y del 8,1 % en mujeres, y Wang et al. ²⁸ mostraron una prevalencia del 19,1 % en hombres y del 25,0 % en mujeres. La mayoría de los casos son de L4-L5 o menos, generalmente de L5-S1 o L3-L4. En gran parte de los estudios rara vez superando el Grado II²⁹.

Las vértebras lumbares inferiores son las más vulnerables al desarrollo de espondilolistesis, ya que soportan la mayor carga. Le sigue la región cervical,

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

con casos raros de espondilolistesis torácica debido a la mayor estabilidad que proporciona la arquitectura costal. La mayor prevalencia se reporta en las vértebras L4-L5 (1,5% hombres; 5,9% mujeres), con un solo nivel afectado³⁰.

Este nivel es el más susceptible debido a la combinación de altas fuerzas de cizallamiento ejercidas sobre las vértebras inferiores y la orientación sagital de sus articulaciones facetarias. L5-S1 presenta mayores fuerzas de cizallamiento, pero facetas con una orientación más coronal en comparación con L4-L5. Le siguen en prevalencia el desplazamiento anterior L5-S1 (0,7 % hombres; 1,2 % mujeres) y L3-L4 (0,5 % hombres; 1,2 % mujeres), aunque frecuentemente coexisten con L4-L5 (34 %)³¹.

Las principales causas locales que probablemente contribuyen a la formación del SD son: degeneración discal que causa inestabilidad segmentaria; artrosis de las articulaciones facetarias; fallo del componente estabilizador ligamentoso y estabilización muscular inadecuada³¹.

El grado de desplazamiento se informa comúnmente, según el método descrito por primera vez por Meyerding²², y se clasifica en una escala del I al V según el porcentaje de deslizamiento del cuerpo vertebral sobre las vértebras subyacentes. El grado aumenta en intervalos del 25%, definiéndose el grado 5 como el deslizamiento de todo el cuerpo más allá del borde de las vértebras subyacentes (espondiloptosis).

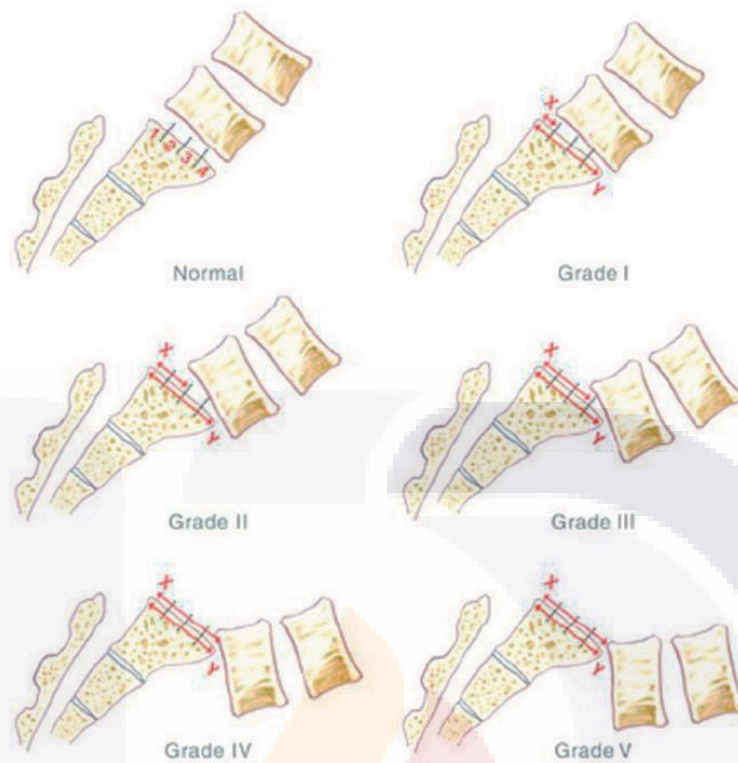


Figura 5. Clasificación de Meyerding para determinar el grado de espondilolistesis. Grado I, Grado II, Grado III, Grado IV, Grado v o espondiloptosis, y vértebra normal con el cuerpo inferior dividido en cuartos, utilizada para determinar la medida del deslizamiento. Adaptado de Meyerding (1932). Colegio Americano de Cirujanos. Rivollier M, Marlier B, Kleiber JC, Eap C, Litre CF. Surgical treatment of high-grade spondylolisthesis: Technique and results. J Orthop. 2020 Aug 25;22:383-389. doi: 10.1016/j.jor.2020.08.015. PMID: 32952331; PMCID: PMC7486580.

En la mayoría de los casos reportados, el desplazamiento anterior tiende a ser leve, rara vez supera el 30%³². Los deslizamientos de mayor grado generalmente no se observan en la espondilolistesis degenerativa. Sin embargo, la clasificación no se correlaciona con el grado de dolor ni con la progresión de la degeneración^{32,33,34}. Tampoco caracteriza la espondilolistesis basándose en otras características radiográficas asociadas, que se abordarán más adelante. Sin embargo, es un método bien validado para comunicar el grado de desviación.

4.4.2. Etiología y factores predisponentes

La EDL puede progresar a partir de la espondilólisis, que es la degeneración de la pars interarticularis. De hecho, hasta el 70% de los pacientes con defectos

bilaterales de la pars progresan a espondilolistesis ístmica. Este deslizamiento ocurre con mayor frecuencia durante períodos de crecimiento rápido pero también se puede ver asociado con el proceso degenerativo de la columna vertebral produciendo fractura patológica por repetición debido a las fuerzas de cizallamiento en pacientes de mayor edad, en algunos casos también se puede producir de manera traumática, con mecanismos de lesión de alta energía e hiperflexión con daño de la pars articularis³³.

Se han descrito en la literatura numerosos factores de riesgo que conducen al desarrollo de EDL, en ambos sexos, la incidencia aumenta con la edad. De hecho, estudios han demostrado que las alteraciones características son poco frecuentes en personas menores de 50 años, pero su prevalencia aumenta rápidamente con la edad, afectando hasta al 15 % de los hombres y al 50 % de las mujeres de 66 a 70 años. Debido a la hiperlaxitud ligamentosa y a las influencias hormonales, se observa con mayor frecuencia en mujeres³³. Wang et al. informaron que la menopausia puede aumentar el desarrollo ED³⁴.

En un análisis poblacional transversal¹⁶, se encontró que los antecedentes profesionales influyen notablemente en el desarrollo de EDL, en los casos de choferes profesionales (>4 h/día) así como la actividad manual intensa en el sector agrícola, pesquero e industrial se correlacionaban con la espondilolistesis radiográfica, así como también una notable incidencia en pacientes con trabajo sedentario³⁴.

En un estudio prospectivo, Aono et al.¹⁷ realizaron un seguimiento de 142 mujeres sin deformidad basal y describieron que una alta incidencia pélvica (IP), una inclinación sacra (SS) elevada, un tamaño vertebral modificado y la orientación de la articulación facetaria (AF) en el plano sagital eran indicadores del desarrollo de ED. De igual manera, Guo et al.¹⁸ demostraron que una mayor inclinación pélvica (PT) de L4 (>11,15°), una lordosis lumbar (LL)(>60,19°) y la degeneración facetaria eran indicadores significativos de ED. Asimismo, Nakamae et al.¹⁹ informaron que una incidencia pélvica alta (PT) (>45°) y una lordosis lumbar (LL) (>51,3°) son indicadores significativos para el desarrollo de ED.

La mayor prevalencia se reporta en las vértebras L4-L5 (1,5% hombres; 5,9% mujeres), con un solo nivel afectado. Esto se debe a las altas fuerzas de cizallamiento ejercidas a este nivel, por lo que se vuelve más susceptible de presentar cambios degenerativos progresivos. Aunado a la orientación sagital de sus articulaciones facetarias. L5-S1 presenta mayores fuerzas de cizallamiento, pero facetas con mayor orientación coronal en comparación con L4-L5. Le siguen en prevalencia el desplazamiento anterior de L5-S1 (0,7% hombres; 1,2% mujeres) y L3-L4 (0,5% hombres; 1,2% mujeres), aunque frecuentemente coexisten con L4-L5 (34%)²¹.

4.4.3. Manifestaciones clínicas

La gran mayoría de los pacientes con espondilolistesis son asintomáticos²⁵. Los síntomas generalmente derivan de una etiología mecánica o de una estenosis espinal, y los pacientes con frecuencia se quejan de claudicación neurogénica intermitente; una consecuencia de la estenosis espinal que se presenta con dolor lumbar con radiación a las extremidades inferiores bilaterales proximales, con parestesia asociada y debilidad al caminar o estar de pie³⁴. Los pacientes con espondilolistesis ístmica experimentan más comúnmente síntomas que incluyen tensión en los isquiotibiales y dolor en la parte baja de la espalda o los glúteos que empeora con la extensión espinal. Esta radiculopatía se debe a la compresión de las raíces nerviosas en el área del deslizamiento anterior del cuerpo vertebral³⁵.

De manera similar, las características clínicas de la espondilolistesis degenerativa incluyen predominantemente dolor lumbar, radiculopatía o claudicación neurogénica^{33,35}. Este dolor a menudo empeora con la actividad y/ o la extensión espinal, pero el dolor puede aliviarse con movimientos que causan flexión espinal, como sentarse o inclinarse hacia adelante^{35,36}. La espondilolistesis que empeora progresivamente puede presentarse con síntomas neurogénicos nuevos o aumentados, como dolor radicular, disfunción intestinal y vesical e incluso síndrome de cauda equina. Los pacientes también pueden referir un evento traumático previo a la aparición de los síntomas; sin embargo, muchos casos se correlacionan con un inicio insidioso. También puede presentarse dolor nocturno, lo que suele ser motivo de sospecha de malignidad³⁶.

4.4.4. Diagnóstico radiológico

El diagnóstico por imagenología de la espondilolistesis puede llevarse a cabo mediante una radiografía simple de columna lumbar y proyecciones laterales estáticas y dinámicas de manera comparativa. Estas características radiográficas pueden observarse y deben de complementarse con el uso de, tomografía computarizada (TAC), así como también con el uso de resonancia magnética (RMN). La solicitud de estos tres estudios se hace con la intención de establecer una cronología que ayude a detallar la presentación clínica de cada paciente³⁷.

Por lo tanto, estos estudios suelen solicitarse de manera rutinaria en el ámbito hospitalario para facilitar el diagnóstico de la espondilolistesis, la elección del tratamiento, así como el pronóstico. La importancia radica en los cambios estructurales y degenerativos más comunes de la columna lumbar. Destacan los que se presentan a nivel de las articulaciones facetarias, el complejo ligamentoso posterior y el disco intervertebral.

Radiológicamente, es imprescindible tener que realizar una búsqueda de la evidencia de desplazamiento de los cuerpos vertebral sobre otros en el plano sagital en todos los niveles lumbares, así como la morfología y la artropatía facetaria en radiografías y TAC. De manera más puntual, en la RMN, se debe de buscar la presencia de derrame facetario, vacío facetario, quiste sinovial, bursitis del ligamento interespinoso y disco de vacío. Como parte de un análisis de los marcadores de disfunción e inestabilidad, y en algunos casos, datos de reestabilización³⁸.

Morfología y artropatía facetaria lumbar

La morfología facetaria lumbar y la afectación de las articulaciones facetarias pueden evaluarse de mejor manera en una TAC. Mientras que la RMN es de utilidad para poder realizar un mejor análisis de los tejidos blandos: cápsulas articulares, cartílago articular y ligamentos, aunque es menos fiable para determinar la artropatía³². Las facetas lumbares tienen una orientación sagital, con una ligera inclinación en comparación con el resto de las facetas de la columna, y se vuelven cada vez más coronales a medida que se aproximan al sacro.

El ángulo facetario transversal medio, que es el ángulo desde el plano medio sagital, está descrito que se comprende entre 25,89° y 33,87° para T12-L2, mientras que aumenta entre 40,40° y 56,30° para L3-L5. Sin embargo, se pueden observar grados variables de asimetría a ese nivel, Por lo que, se ha reportado una diferencia angular media de 4,93° a 10,6° en vértebras normales³⁸. Se ha demostrado que la orientación de las facetas es un factor que no depende del sexo ni del grupo étnico, aunque hay una mejor en cuenta a la edad debido a la remodelación osteoarttrítica³⁹.

Las características radiográficas típicas de la osteoartritis y la degeneración de las facetas articulares se describen de la siguiente manera: donde se observa un estrechamiento del espacio articular, erosiones óseas subarticulares, quistes subcondrales, formación de osteofitos e hipertrofia (Figura 6)³⁹. La artropatía facetaria y la espondilolistesis comparten los mismos factores de riesgo para poder desarrollarse, como lo son la edad avanzada y sexo femenino. Además de la misma alta prevalencia a nivel espinal L4-L5³⁹.

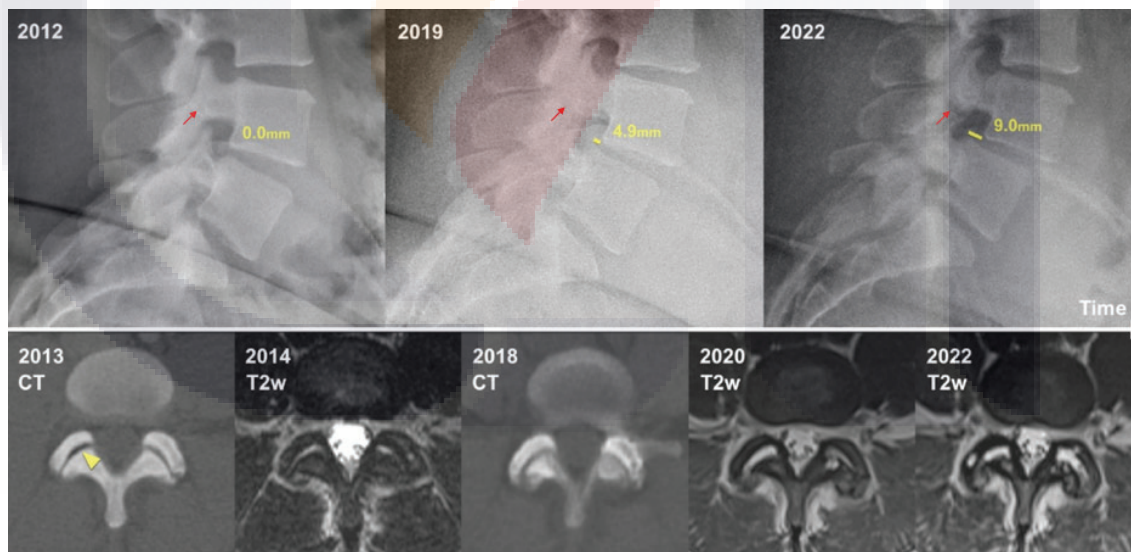


Figura 6. Radiografía lateral de columna lumbar en bipedestación (fila superior), TAC simple en decúbito supino y RMN simple ponderada en T2 de las articulaciones facetarias L4-L5 (fila inferior). Paciente con espondilolistesis lumbar de origen degenerativo. Como parte inicial de la fisiopatología se produce una fractura a nivel de la pars interarticulares (flecha roja) de la cual se tiene evidencia imagenológica pudiendo haber o no síntomas. Se ilustra la evolución de la espondilolistesis de manera progresiva por un periodo de 10

años, donde puede observarse la degeneración y la artrosis facetaria. De manera inicial la disfunción facetaria se presenta como un "vacío articular" (flecha amarilla), que posteriormente es sustituido por la presencia de líquido articular. Imagen obtenida de: Saremi A, Goyal KK, Benzel EC, Orr RD. Evolution of lumbar degenerative spondylolisthesis with key radiographic features. Spine J. 2024.

La relación que existe entre la orientación facetaria y la espondilolistesis degenerativa, ha sido motivo de múltiples estudios en los últimos años. Sato et al.³⁸ fueron los primeros en realizar una mejor descripción de las facetas, en las cuales ya mencionaba una orientación más sagital respecto a las demás. Esto es principalmente notorio en la articulación L4-L5, siendo uno de los principales sitios de presentación de la espondilolistesis degenerativa, seguidos de múltiples estudios que confirmaron la misma observación^{33,39,40}. Se ha descrito que la probabilidad de espondilolistesis L4-L5 se triplica cuando una faceta alcanza un umbral crítico de un ángulo transversal $>58^\circ$. Ese riesgo se duplica a seis veces si ambas facetas superan ese umbral³⁴. Se ha demostrado que la orientación sagital, pero no el tropismo (asimetría), aumenta el riesgo de artropatía facetaria en pacientes con y sin espondilolistesis degenerativa, aunque el ángulo permanece más sagital en casos de espondilolistesis⁴⁰.

La osteoartritis facetaria presenta una alta correlación con la espondilolistesis, con una razón de probabilidades (odds ratio) de 19⁴¹. En estadíos avanzados, la artropatía puede ser una fuente de reestabilización, como lo demuestra la disminución del movimiento observada en las articulaciones facetarias en pacientes con espondilolistesis degenerativa de varios años de evolución⁴².

Efusión/derrame facetario

La identificación de líquido intraarticular dentro de las articulaciones facetarias es uno de los hallazgos más frecuentes en los estudios por RMN de columna lumbar. El cual se puede observar como la presencia de regiones de hiperintensidad dentro de la cápsula articular, especialmente visibles en secuencias ponderadas en T2 en planos axial y sagital. Su prevalencia en la población general es del 34,3 %, sin que se haya evidenciado una correlación significativa con otras variables, como la edad, el sexo, u otras asociaciones clínicas, como lumbalgia⁴³. Aún así, la evidencia de líquido facetario puede interpretarse como un indicio de degeneración

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

articular. La inestabilidad segmentaria, en este contexto, podría generar una carga biomecánica excesiva sobre las articulaciones facetarias, con el tiempo estos cambios forman parte de la cadena fisiopatológica de la osteoartritis de la columna. Así como la acumulación de líquido sinovial en el interior de la cápsula articular.

En diversos estudios publicados se ha estudiado si la inestabilidad segmentaria observada en la espondilolistesis degenerativa es concomitante con la acumulación de líquido facetario⁴³. Se sabe que el derrame facetario es un marcador altamente fiable de inestabilidad segmentaria. Esta inestabilidad podría pasar desapercibida en la resonancia magnética en decúbito supino, debido al reposo durante la realización del mismo. Mailloux et al.⁴⁴ fue uno de los primeros en reportar casos de pacientes con diagnóstico de estenosis espinal degenerativa asociada a la espondilolistesis. La cual era sólo detectable en radiografías de flexión-extensión. Estos autores observaron que «el único indicio de inestabilidad radiográfica en la resonancia magnética fue un cambio de señal alto en la imagen axial ponderada en T2 dentro de las articulaciones facetarias». Chaput et al.⁴⁵ posteriormente realizaron uno de los primeros estudios comparativos retrospectivos donde se incluyeron a 54 pacientes con y 139 pacientes sin espondilolistesis degenerativa. Sus resultados evidenciaron que un derrame >1,5 mm predice espondilolistesis degenerativa. Cho et al.⁴⁶ demostraron una asociación positiva entre la presencia de líquido en las facetas articulares y el grado de deslizamiento anterior de L4-L5 de flexión a extensión. Lo importante es que en ambos estudios, un porcentaje significativo de pacientes con espondilolistesis degenerativa no presentó desplazamiento vertebral detectable en la resonancia magnética en decúbito supino (22 % y 34,5 %, respectivamente). Por lo que de manera indirecta, esto demuestra que la RMN en decúbito supino no es el estudio de primera línea para clasificar ni medir la inestabilidad, en ausencia de otros parámetros radiográficos. Kuhns et al.⁴⁷ estimaron que la sensibilidad de la resonancia magnética en decúbito supino para detectar la espondilolistesis degenerativa L4-L5 es de aproximadamente el 78 %. En cambio, para las radiografías laterales de columna lumbar en bipedestación lateral son de aproximadamente el 98%. En estos estudios también

podieron analizar que valor predictivo positivo de la espondilolistesis degenerativa lumbar inestable, la cual varía del 52 % al 100 % al comparar derrames facetarios de >1 mm a >3,5 mm. Wang et al.⁴⁸ demostraron un valor predictivo positivo del 76 % para la inestabilidad cuando el derrame facetario es >1 mm en la RMN con movimiento. Sin embargo, dependiendo del estudio y de la población estudiada, puede haber variabilidad en la sensibilidad reportada en la RMN en decúbito supino para detectarla.

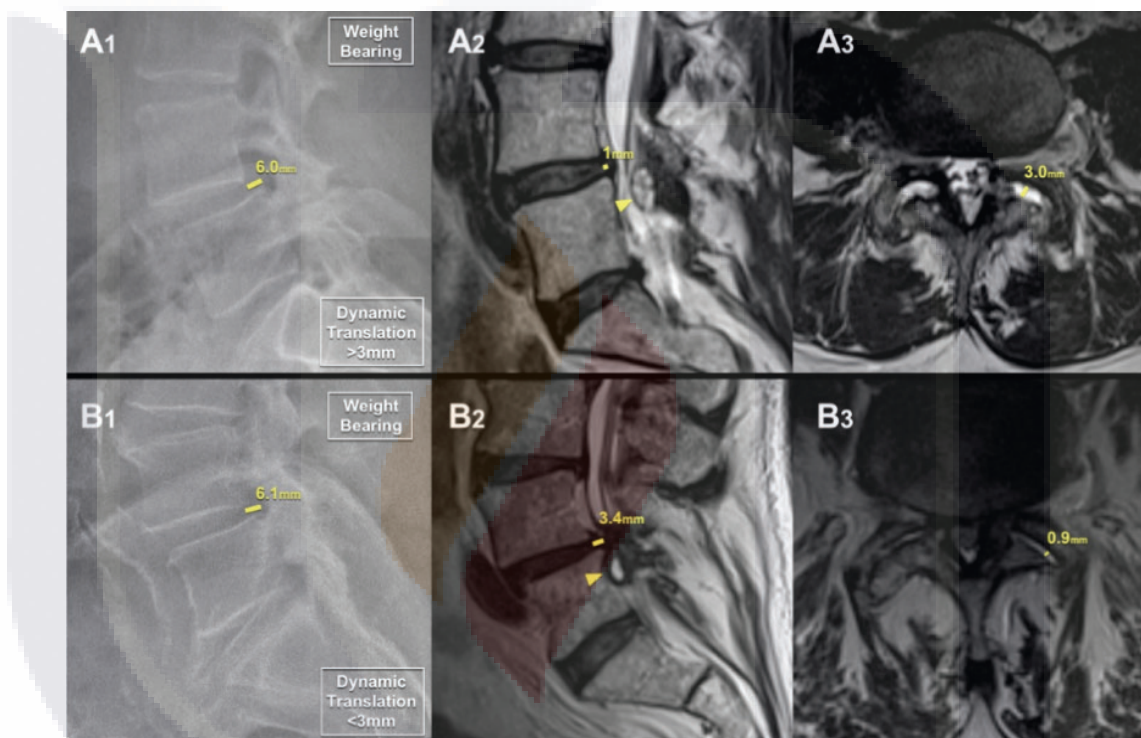


Figura 7. Se presentan imágenes de radiografía lateral en posición de bipedestación (1), resonancia magnética sagital en decúbito supino (2) y axial (3), todas ponderadas en T2, correspondientes a dos pacientes con espondilolistesis degenerativa lumbar asociada a quistes sinoviales facetarios. En el caso del paciente (A), se observa una fase relativa de inestabilidad segmentaria, evidenciada por un derrame facetario significativo (>1,5 mm) y una traslación dinámica superior a 3 mm en la radiografía comparada con la resonancia magnética. Por otro lado, el paciente (B) muestra signos compatibles con una etapa más avanzada en la secuencia degenerativa, como la deshidratación del disco intervertebral, disminución de su altura y la presencia de un quiste facetario de pared engrosada. Los quistes facetarios están señalados mediante flechas amarillas, mientras que las barras amarillas indican las longitudes medidas. Imagen obtenida de: Saremi A, Goyal KK, Benzel EC, Orr RD. Evolution of lumbar degenerative spondylolisthesis with key radiographic features. Spine J. 2024.

En estudios más amplios y más recientes, como en el metaanálisis de Aggarwal et al⁴⁹ donde se destaca la importancia entre la asociación entre el derrame facetario y la inestabilidad segmentaria la presenta. Se analizaron cuantitativamente 10 artículos con un total de 1065 pacientes.

Se determino que la razón de probabilidades (odds ratio) para la espondilolistesis inestable en presencia de líquido facetario fue de 7,55 (3,61-15,08; $p < 0,00001$). Por lo que diferencia media estándar en el espesor del líquido entre la espondilolistesis degenerativa estable e inestable fue de 0,97 mm (0,38-1,57; $p < 0,001$). Aunado a esto, en el estudio se sugiere que se deben de realizar radiografías laterales de columna lumbar dinámicas en bipedestación a cualquier paciente con líquido facetario >1 mm, para descartar la presencia de inestabilidad. Es importante destacar que todos los pacientes incluidos en estos estudios presentaban síntomas. En ausencia de síntomas como lumbalgia o claudicación neurológica no se han descrito asociaciones entre la espondilolistesis y el líquido facetario⁴³. Contrariamente a lo esperado, el derrame facetario se observa con menos frecuencia en los grados más altos de espondilolistesis. Chaput et al.⁴⁵ observaron varios casos de espondilolistesis degenerativa en pacientes mayores de 70 años, en los que no se observó derrame significativo a pesar de presentar cambios degenerativos graves y espondilolistesis de grado III. Indicaron que estos pacientes habían alcanzado una "fase de relativa estabilidad" en la cascada de degeneración, ya que su anterolistesis también era notable en la resonancia magnética en decúbito supino.

Fenómeno de vacío facetario

El fenómeno del vacío articular es una manifestación generalmente benigna que puede identificarse en los estudios de TC. Este fenómeno ocurre como resultado de una expansión articular que genera presión intraarticular negativa, lo que conlleva a una acumulación de gas (nitrógeno) dentro del espacio cerrado de la cápsula articular⁵⁰. En las articulaciones facetarias, esta condición se visualiza como una banda radiolúcida, típicamente de forma lenticular, en un espacio articular ensanchado. Suele observarse de forma bilateral en los niveles afectados

por espondilolistesis y con frecuencia se encuentra en asociación con signos radiológicos de artrosis facetaria.

El vacío facetario se describió por primera vez en el contexto de la espondilólisis degenerativa por Lefkowitz y Quencher en 1982⁵¹. En dicha publicación, se propuso que la tracción inducida por el desplazamiento vertebral favorece la entrada de gas dentro de la cápsula articular cigapofisaria. Este mecanismo implica que el arco neural y la pars interarticularis permanecen estructuralmente íntegros, lo que diferencia este hallazgo como característico de procesos degenerativos.

No se dispone de datos concluyentes sobre la prevalencia del vacío facetario, ciertos estudios han reportado su aparición en contextos clínicamente relevantes. Por ejemplo, en una cohorte de 750 pacientes con radiculopatía y lumbalgia clínicamente definidas, solo 10 casos presentaron espondilolistesis con evidencia de vacío facetario⁵². En contraste, un estudio realizado por Sun et al.⁵³ identificó vacío facetario en 35 de 67 pacientes (52,24 %) con espondilolistesis degenerativa a nivel L4-L5. Los autores encontraron que la presencia de gas en el interior de las articulaciones facetarias se correlacionaba con un mayor grado de movilidad segmentaria. Asimismo, se observó una relación lineal entre la magnitud del vacío y el grado de inestabilidad vertebral, lo que sugiere que el vacío facetario podría representar un marcador confiable de inestabilidad segmentaria en el contexto de la espondilolistesis degenerativa.

Dado el espectro progresivo de los cambios degenerativos en las articulaciones facetarias, se plantea que la aparición de vacío articular —en ausencia de artropatía avanzada— podría representar una manifestación temprana de inestabilidad segmentaria. En etapas iniciales, las elevadas presiones intraarticulares podrían favorecer la acumulación de gas en el espacio articular (Figura 8). Con el avance del proceso degenerativo, el líquido sinovial podría desplazar dicho gas, aunque este último podría volver a acumularse en fases más tardías de la osteoartritis, a medida que la articulación pierde contenido líquido y se reseca.

En este sentido, se requieren investigaciones adicionales que evalúen de forma longitudinal la prevalencia, comportamiento evolutivo y valor predictivo del vacío facetario como posible indicador de progresión hacia grados más avanzados de inestabilidad vertebral en pacientes con espondilolistesis degenerativa.

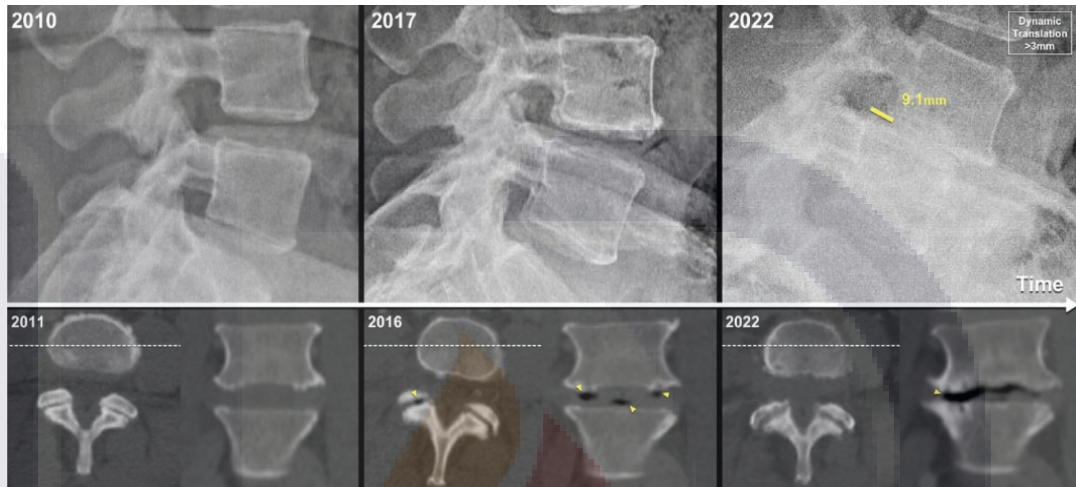


Figura 8. Radiografía lateral en bipedestación (fila superior), junto con imágenes de tomografía computarizada (TC) axial (izquierda) y coronal (derecha) en decúbito supino, correspondientes a las articulaciones facetarias L4-L5 y al disco intervertebral de una paciente diagnosticada con espondilolistesis degenerativa lumbar. Las imágenes ilustran la progresión de la espondilolistesis en el contexto del inicio de la degeneración discal, evidenciado presencia del fenómeno del vacío discal (señalado con flecha amarilla) y alteraciones en la placa terminal, a lo largo de un período evolutivo de 12 años. La aparición temprana del vacío facetario (también indicado con flecha amarilla) sugiere una disfunción inicial de la articulación facetaria. Este caso ejemplifica un patrón de disfunción anteroposterior, caracterizado por la degeneración del disco intervertebral que precede a los cambios degenerativos en las articulaciones facetarias. La línea discontinua blanca en la imagen axial de la TC señala el nivel anatómico correspondiente al corte coronal. Imagen obtenida de: Saremi A, Goyal KK, Benzel EC, Orr RD. Evolution of lumbar degenerative spondylolisthesis with key radiographic features. Spine J. 2024.

4.5. Tratamiento de la EDL

4.5.1. Tratamiento conservador de la EDL

Estudios recientes mencionan que el abordaje inicial de tratamiento en pacientes con diagnóstico de espondilolistesis leve sin evidencia de compromiso neurológico consiste en un tratamiento conservador. Similar al manejo que se da

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

en pacientes con lumbalgia mecánica⁵⁴. Sin embargo, hasta la fecha no se ha establecido una guía con un manejo estandarizado de tratamiento no quirúrgico óptimo, en parte a la poca cantidad de estudios prospectivos que respalden su eficiencia de manera concluyente.

Por otra parte, las directrices publicadas en 2014 por la Sociedad Norteamericana de Columna (North American Spine Society, NASS) para el diagnóstico y tratamiento de la estenosis espinal lumbar recomiendan que, en presencia de síntomas radiculares, el manejo no quirúrgico debe seguir principios similares a los empleados en la estenosis espinal lumbar degenerativa⁵⁵. El manejo conservador incluye el reposo, con la restricción temporal de actividades físicas, el uso de antiinflamatorios para el control del dolor, infiltraciones epidurales de esteroides en los casos con mayores síntomas, así como programas de terapia física. Como parte de la rehabilitación se menciona el uso de dispositivos ortopédicos, ejercicios de fortalecimiento, ultrasonido, estimulación eléctrica y modificaciones en las actividades de la vida diaria.

El principal objetivo de los programas de ejercicio terapéutico tiene como objetivo principal disminuir el dolor y el fortalecimiento de la musculatura paravertebral y la mejora de la arcometría funcional para brindar una mayor estabilidad de la columna⁵⁶. La evidencia disponible sugiere que los ejercicios de flexión ofrecen un mayor beneficio en términos de alivio del dolor y mejoría funcional en comparación con los ejercicios de extensión⁵⁸. Asimismo, se ha demostrado que la combinación de ultrasonido terapéutico con ejercicios físicos reduce el consumo de analgésicos. El uso de corsés lumbosacros también ha mostrado eficacia en la mejora de la distancia de marcha en pacientes con claudicación neurogénica.

En un ensayo clínico prospectivo y aleatorizado con una muestra de 29 pacientes, Koc et al.⁵⁸ compararon tres grupos de tratamiento: fisioterapia, inyecciones epidurales y un grupo control. En los hallazgos de este estudio se observó una mejoría significativa en la intensidad del dolor en los grupos que recibieron tratamiento activo, sin encontrar alguna diferencia estadísticamente significativa al cabo de seis meses de seguimiento. Con base en estos hallazgos, los autores concluyeron que tanto la fisioterapia como las inyecciones epidurales

de esteroides resultan efectivas para el manejo de la estenosis espinal durante los primeros seis meses de tratamiento.

En pacientes con síntomas radiculares predominantes, las inyecciones epidurales transforaminales de esteroides, guiadas por imagen, han demostrado ser eficaces para el alivio del dolor en el corto y mediano plazo (entre 3 y 36 meses)^{58,59}. Por otro lado, la evidencia sobre el uso de manipulación espinal en casos de estenosis espinal es limitada, estando principalmente representada por reportes de casos y estudios de nivel IV. En pacientes con ELD, la literatura disponible sobre esta intervención es aún más escasa al considerarse terapias alternativas.

Se mencionan también las modalidades terapéuticas auxiliares. Como la tracción espinal, la estimulación eléctrica o la estimulación nerviosa eléctrica transcutánea (TENS). Sin embargo, no hay estudios clínicos controlados reportados en la literatura que permitan determinar recomendaciones clínicas sobre su uso y efectividad en la práctica clínica diaria⁶⁰.

Respecto al tratamiento de la espondilolistesis lumbar degenerativa, las directrices más recientes de la NASS siguen siendo mayormente indeterminadas en cuanto al papel de las terapias médicas o intervencionistas no quirúrgicas. No se emitieron recomendaciones específicas ni a favor ni en contra de su uso. Además, el grupo de trabajo subrayó la necesidad de que futuras investigaciones evalúen los resultados de cada intervención, estratificados según la presentación clínica del paciente, y que consideren también el impacto de la fisioterapia con o sin enfoque direccional específico (por ejemplo, evitando movimientos en extensión)⁶¹.

4.5.2. Tratamiento quirúrgico de la EDL

El consenso más reciente emitido por el grupo de trabajo sobre el diagnóstico y tratamiento de la espondilolistesis lumbar degenerativa sugiere que el abordaje quirúrgico debe considerarse en pacientes con estenosis espinal sintomática asociada a espondilolistesis de bajo grado que no han respondido adecuadamente al tratamiento conservador⁶¹.

Existe un acuerdo generalizado entre los especialistas en que la falta de mejoría clínica tras un periodo de manejo conservador de entre tres y seis meses constituye una indicación razonable para valorar la intervención quirúrgica⁶². En términos de indicaciones clínicas específicas, se considera que los pacientes con sintomatología radicular persistente y/o claudicación neurogénica representan candidatos apropiados para tratamiento quirúrgico. Por otro lado, aquellos que presentan signos compatibles con síndrome de cauda equina, como disfunción vesical o anestesia en región perineal (en silla de montar), deben ser sometidos a una intervención quirúrgica de carácter urgente, dada la naturaleza potencialmente progresiva e irreversible de dicha condición.

4.5.3. Indicaciones y técnicas quirúrgicas

El principal objetivo terapéutico en pacientes con espondilolistesis lumbar degenerativa es poder hacer una descompresión sobre las estructuras neurales. Esto puede hacerse ya sea a nivel radicular o a nivel del conducto medular. Lo que se traducirá en una mejoría de la sintomatología del paciente. Las intervenciones quirúrgicas de descompresión suelen incluir diversas técnicas de laminectomía⁶². No obstante, debido al riesgo potencial de inestabilidad mecánica secundaria a la espondilolistesis, es frecuente que el cirujano considere la realización de una fusión vertebral complementaria a la descompresión, en función de las características individuales de cada caso.

4.5.4. Fusión posterolateral (PLF)

En la práctica clínica actual, se recomienda con frecuencia la fusión vertebral asociada a descompresión en pacientes con espondilolistesis lumbar degenerativa concomitante con estenosis espinal lumbar (LSS, por sus siglas en inglés). Esta tendencia ha ido en aumento progresivo en los últimos años⁶⁴. En cuanto a la espondilolistesis de alto grado, existe un consenso generalizado en la comunidad médica en relación con la necesidad de realizar cirugía de fusión⁶⁴. Aún persiste la controversia respecto a la indicación de fusión en pacientes con espondilolistesis lumbar de bajo grado que presentan movilidad segmentaria limitada.

Actualmente, la decisión sobre el tipo de abordaje quirúrgico se basa no solo en la presentación clínica y los hallazgos radiológicos, sino también en la experiencia del cirujano tratante y las preferencias del paciente. Algunos estudios respaldan la necesidad de realizar una fusión vertebral incluso en casos de espondilolistesis lumbar de bajo grado que cursan con estenosis espinal, argumentando que esta estrategia podría prevenir la progresión de la inestabilidad tras la descompresión⁶⁵.

Por el contrario, otras investigaciones han evidenciado que, en pacientes con espondilolistesis lumbar sintomática asociada a estenosis espinal, no existen diferencias estadísticamente significativas entre la descompresión aislada y la descompresión con fusión, tanto en los resultados clínicos a corto como a largo plazo⁶⁶.

En vista de esta disparidad en la literatura actual, continúa en evaluación la indicación de realizar o no una fusión vertebral adicional en el contexto de descompresión quirúrgica para el tratamiento de la estenosis espinal secundaria a espondilolistesis lumbar degenerativa de bajo grado.

4.5.5. Fusión intersomática transforaminal (TLIF)

La fusión intersomática lumbar transforaminal (TLIF) en los últimos años se ha considerado como el estándar de oro de las técnicas de fusión intersomática. Dada su eficacia en las tasas de fusión y la accesibilidad técnica que tiene es un procedimiento es ampliamente utilizado en cirugía de columna. Este se realiza a través de la resección de la articulación facetaria de un solo lado, la realización de discectomía y la descompresión indirecta del canal espinal, así como la estabilización vertebral mediante un abordaje unilateral intervertebral.

Uno de los principales objetivos del TLIF es restaurar la altura del espacio intervertebral. Lo que de manera indirecta elimina la compresión de las estructuras neurales y ayuda a reestablecer la estabilidad mecánica del segmento lumbar afectado, mediante la colocación de tornillos transpediculares en un nivel. Una de las mayores ventajas anatómicas de este procedimiento es que se preserva el ligamento longitudinal anterior y ligamento longitudinal posterior. Así como la placa terminal vertebral del lado contralateral. Conservar

estas estructuras permite a reducir la manipulación y tracción de las raíces nerviosas y el saco dural, lo que disminuye el riesgo de complicaciones neurológicas en el postoperatorio inmediato⁶⁷. Esto se traduce en una recuperación postquirúrgica más rápida de los pacientes, con un inicio temprano de terapia física y una rápida integración a sus actividades de la vida diaria.

Sin embargo, la técnica típica del TLIF, basada en un abordaje posterior por la línea media, requiere la disección bilateral y retracción de los músculos multifidos. Esta manipulación quirúrgica conlleva a inducir daño muscular. Secundariamente, y como en cualquier abordaje posterior de columna lumbar se puede producir fibrosis postoperatoria, así como la posible denervación de los músculos paraespinales. Lo que podría comprometer la función de la musculatura extensora espinal. Esto se traduce en la aparición de debilidad funcional y dolor lumbar persistente postoperatorio. Aún así el riesgo es mínimo en comparación de la FPL ⁶⁷.

Adicionalmente, a pesar de que no hay una gran manipulación de las estructuras posteriores del arco neural, puede presentarse la alteración estructural de la columna posterior derivada de este abordaje. Sin embargo, esta manipulación es mínima en comparación de la realizada en un FPL. Aún así se podría presentar el desarrollo de la enfermedad del segmento adyacente (ESA), como una complicación degenerativa común en pacientes sometidos a cirugía de fusión lumbar. Por lo que el análisis del balance sagital se vuelve imprescindible en estos casos.

4.6. Fusión posterolateral (FPL) versus fusión intersomática (TLIF) para el tratamiento de la espondilolistesis degenerativa. Resultados clínicos y postoperatorios reportados en la literatura.

La ED frecuentemente se trata de manera quirúrgica mediante la descompresión y fusión quirúrgica. Sin embargo, la adición de la fusión intersomática a la FPL ha sido debatida, en donde varios estudios de cohorte retrospectivos y metanálisis han arrojado resultados contradictorios⁷⁵. Recientemente, McAnany et al⁷⁶, realizaron un metanálisis que abordó la diferencia entre la FPL y TLIF adicional para el tratamiento de la ED. Sin embargo, uno de los cinco estudios incluidos en

este análisis involucró al 73 % de los pacientes con enfermedad discal degenerativa, estenosis espinal o cirugía de espalda fallida. El 27 % restante de los pacientes presentó espondilolistesis, aunque no se aclaró si esta era degenerativa o ístmica. Por lo tanto, el resultado del metanálisis, centrado en la ED, probablemente se vio afectado por esta inclusión.

En un metaanálisis realizado por Ryan C. et.al.⁷⁸, abordaron la cuestión de si la fusión intersomática adicional es ventajosa para el tratamiento de la ED mediante un análisis de todos los datos clínicos y quirúrgicos disponibles. En el metanálisis actual, se identificaron e incluyeron 6 estudios con 721 pacientes. Todos los pacientes se sometieron a cirugía de descompresión seguida de fusión mediante una FPL sola (que se instrumentó en la mayoría de los pacientes) o a una fusión mediante PLIF o PLIF/TLIF combinada⁷⁷, y se compararon con éxito sus resultados funcionales y quirúrgicos.

Algunos autores han reportado resultados similares en pacientes con fusiones intersomáticas y no intersomáticas en el tratamiento de ED. En un estudio de cohorte de 56 pacientes realizado por Fujimori et. al.⁷⁹, se observó una mejora similar utilizando la escala de funcionalidad de Oswestry (ODI, *Oswestry Disability Index*), en donde las puntuaciones medias del ODI postoperatorio para los grupos FPL y fusión con TLIF/PLIF fueron iguales. Por el contrario, tras dividir la cohorte en grupos de acuerdo al grado de estabilidad, en estables e inestables, según el grado de deslizamiento, Ha et. al.⁸⁰ encontraron una diferencia significativa entre los métodos de fusión en el grupo con inestabilidad. Este grupo tuvo un ODI preoperatorio promedio más alto que el grupo estable. Sin embargo, postoperatoriamente, este se redujo a $27,3 \pm 12,3$ en el grupo con fusión intersomática, pero solo a $44,8 \pm 13,7$ en el grupo FPL sola. También se observó una ventaja estadísticamente significativa para el grupo intersomático en las puntuaciones de la escala visual análoga para el dolor (EVA). Por lo tanto, en pacientes con un mayor grado de deslizamiento vertebral, la fusión intersomática puede representar una mejor opción. Sin embargo, este estudio está limitado por el menor tamaño de la muestra y se requiere un ensayo más amplio para confirmar estos hallazgos. Además, existe controversia en la definición de los criterios de inestabilidad en la ED. En un estudio realizado por Gottshalk et.al.⁸¹

también encontraron puntuaciones ODI postoperatorias más bajas en el grupo con fusiones intersomáticas PLIF/TLIF. En general, las puntuaciones ODI y EVA postoperatorias favorecieron a los grupos PLIF/TLIF, aunque esto no fue estadísticamente significativo.

En este estudio, para poder analizar el resultado postquirúrgico, también se consideraron variables como las tasas de complicaciones, fusión y cirugías de revisión posteriores. Es importante mencionar que la tasa de fusión fue ligeramente mayor en quienes se sometieron a una fusión intersomática⁷⁵. Se observó que los procedimientos TLIF/PLIF fusiona tanto la columna anterior como la posterior, aliviando así la tensión en las estructuras de la columna posterior, incluido el nivel de la instrumentación involucrada.

Por otra parte, un fallo de instrumentación podría conducir a una mayor tasa de reintervenciones. En un estudio que comparó la FPL con TLIF/PLIF en pacientes con ED y espondilolistesis ístmica, Macki et. al.⁸² descubrieron que todas las reintervenciones en el grupo de FPL se debieron a fallos de instrumentación. Sin embargo, en el análisis actual, centrado únicamente en la descompresión espinal, se observaron tasas similares de reintervención en ambos grupos (RR: 1,13; IC del 95 %: 0,67-1,91; p = 0,66). Las complicaciones que pueden surgir de la descompresión y la fusión espinal incluyen infección de la herida, trombosis venosa profunda o hematoma. En el análisis actual, se observó que las tasas de complicaciones fueron similares en ambos grupos. Tampoco se observaron diferencias significativas en la pérdida de sangre ni en la duración de la hospitalización entre ambos grupos. Finalmente, como era de esperar, el tiempo operatorio fue mayor en el grupo de fusión intersomática, aunque no fue estadísticamente significativo y se observó un alto nivel de heterogeneidad (I^2 : 95 %).

En términos generales, para determinar el grado de deslizamiento e inestabilidad, en la mayoría de los estudios revisados se considera inestabilidad cuando el deslizamiento es mayor a 4 mm en combinación con un ángulo de grado local mayor a 10°. En el estudio de Campbell et al.⁷⁸ se observó que, a pesar de un deslizamiento mayor en los grupos FPL y TLIF/PLIF, el grupo de fusión intersomática mostró un deslizamiento significativamente menor en el análisis postoperatorio.

Cabe mencionar que además el grupo TLIF/PLIF mostró un mayor deslizamiento en el ángulo de grado local en comparación con FPL en el inicio del estudio, pero en el postoperatorio los grupos fueron comparables. En términos generales, estos resultados sugieren que la utilización de fusión intersomática puede ser efectiva en pacientes con mayor grado de deslizamiento.

Actualmente, existen datos limitados sobre la relación coste-efectividad de cada procedimiento. Gottshalk et al⁸¹. analizaron los costes quirúrgicos directos de someterse a una fusión intersomática y observaron que esta aumentó considerablemente el costo del procedimiento. Con una diferencia entre 577 y 5276 dólares; sin embargo, esto no fue estadísticamente significativo. Por el contrario, se analizaron la relación coste-efectividad de cada grupo en una cohorte de pacientes con espondilolistesis degenerativa e ístmica. Esta se tomó como la diferencia de coste entre el grupo de fusión intersomática y el grupo con solo FPL, dividida por la diferencia en años de vida ajustados por calidad. Encontraron que, debido a la mayor tasa de reintervención en el grupo con solo FPL, hubo ahorros de costes a largo plazo en el grupo con fusión intersomática. Sin embargo, dado que el análisis actual para la espondilolistesis degenerativa no mostró diferencias en las tasas de reintervención, esta misma conclusión no puede fundamentarse.

5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo afectan la fusión intersomática transforaminal (TLIF) y la fusión posterolateral lumbar (FPL) al balance espinopélvico en pacientes con espondilolistesis degenerativa lumbar, y cuáles son sus implicaciones en la recuperación del balance espinopélvico postquirúrgico inmediato?

6. HIPÓTESIS

La fusión intersomática (TLIF) mejora el balance espinopélvico en comparación de la fusión posterolateral (FPL), restaurando la altura discal, lordosis lumbar y el balance sagital regional.

7. OBJETIVO GENERAL

Evaluar los cambios radiográficos en el balance espinopélvico en pacientes con espondilolistesis degenerativa lumbar, a quienes se les ha realizado un tratamiento quirúrgico a través de fusión intersomática y fusión posterolateral.

7.1. Objetivos específicos

- 7.1.1. Poner de manifiesto los parámetros espinopélvicos preoperatorios y postoperatorios en ambos grupos quirúrgicos.
- 7.1.2. Cuestionar la restauración de la lordosis lumbar y cómo se relaciona con el tipo de técnica utilizada.
- 7.1.3. Determinar la importancia de la corrección del balance sagital entre las técnicas utilizadas.

8. METODOLOGÍA

8.1. Diseño del estudio

Se llevó a cabo un estudio observacional, analítico, retrospectivo y comparativo, cuyo objetivo es valorar el efecto de dos estrategias quirúrgicas: fusión intersomática y fusión posterolateral, sobre el balance espinopélvico en pacientes diagnosticados de espondilolistesis degenerativa lumbar.

8.2. Universo de trabajo

- El universo de trabajo se constituyó por pacientes adultos que habían sido intervenidos quirúrgicamente por espondilolistesis degenerativa lumbar en el Centenario Hospital Miguel Hidalgo, durante el periodo comprendido entre abril de 2022 y agosto de 2025.

- La toma de muestra se realizó mediante muestreo no probabilístico por conveniencia, evaluándose a aquellos pacientes que cumplieron con los criterios de selección y cuya historia clínica y estudios radiográficos estuvieron completos y disponibles para ser revisados.

8.3. Criterios de elegibilidad

8.3.1. Criterios de inclusión

- Pacientes mayores de 18 años.
- Diagnóstico confirmado de espondilolistesis degenerativa lumbar mediante radiografías AP y lateral de columna lumbar, resonancia magnética y/o tomografía computarizada.
- Que haya recibido tratamiento quirúrgico mediante fusión intersomática (TLIF) o fusión posterolateral.
- Radiografías AP, lateral y dinámicas de columna lumbar en bipedestación preoperatorias y postoperatorias inmediatas.
- Consentimiento informado firmado para uso secundario de datos clínicos.

8.3.2. Criterios de exclusión

- Pacientes con diagnóstico de fracturas vertebrales lumbares.
- Pacientes con neoplasias o metastasis en vertebrae lumbares, confirmada o en estudio.
- Pacientes con infección vertebral confirmada o estudio.
- Pacientes a los que se les haya realizado de manera previa algún otro procedimiento quirúrgico de columna que no impliquen colocación de implantes, como: disectomías, laminectomías o recalibrajés foraminales (Punciones e infiltraciones con agujas espinales no se considerarán como criterio de exclusión)

8.4. Variables

Variables independientes:

- Técnica quirúrgica empleada:

- Fusión intersomática transforaminal lumbar (TLIF)
- Fusión posterolateral (instrumentación sin colocación de caja intersomática)

Variables dependientes:

- Parámetros radiográficos espinopélvicos:
 - Incidencia pélvica (PI)
 - Inclinación pélvica (PT)
 - Sacro horizontal o pendiente sacra (SS)
 - Lordosis lumbar (LL)
 - Disbalance sagital global (SVA)

Variables de control:

- Edad
- Sexo
- Nivel vertebral comprometido

8.5. Definición de las variables

<i>Nombre de la Variable</i>	<i>Tipo</i>	<i>Escala de Medición</i>	<i>Categorización (si aplica)</i>	<i>Función en el Estudio</i>
Edad	Cuantitativa	Razon	Continua (años)	Variable de control / descriptiva
Sexo	Cualitativa	Nominal	Masculino / Femenino	Variable de control / descriptiva
Técnica quirúrgica	Cualitativa	Nominal	Fusión intersomática / posterolateral	Variable independiente

Nivel vertebral intervenido	Cualitativa	Ordinal	L3-L4 / L4-L5 / L5-S1	Variable de control / descriptiva
Incidencia pélvica (PI)	Cuantitativa	Razon	Grados	Variable dependiente
Inclinación pélvica (PT)	Cuantitativa	Razon	Grados	Variable dependiente
Sacro horizontal (SS)	Cuantitativa	Razon	Grados	Variable dependiente
Lordosis lumbar (LL)	Cuantitativa	Razon	Grados	Variable dependiente
Desalineación sagital global (SVA)	Cuantitativa	Razon	Milímetros	Variable dependiente
Tiempo de seguimiento postoperatorio	Cuantitativa	Razon	Meses	Variable de control / descriptiva
IMC (si disponible)	Cuantitativa	Razon	kg/m ²	Variable de control / descriptiva

8.6.

Tabla 3. Definición de las variables del estudio.

8.6. Cálculo de la muestra

El tamaño de la muestra fue calculado para comparar los parámetros espinopélvicos entre las dos técnicas quirúrgicas (FPL y TLIF) utilizando la fórmula de comparación de dos medias independientes. Se asumió un nivel de significación de $\alpha = 0.05$ y una potencia de 80 % ($\beta = 0.20$). Basándose en la bibliografía previa, se consideró una desviación estándar de 6° y una diferencia mínima clínicamente relevante de 5° en la lordosis lumbar entre los grupos. Con estos parámetros se estableció un tamaño de muestra requerido de 23 pacientes por grupo (46 en total). En el presente estudio se incluyó un total de 42 pacientes (TLIF = 13, PLF = 29), lo que constituye un resultado aceptable para un análisis

exploratorio con una potencia de alrededor del 70 %. Este tamaño de muestra permitió la observación de tendencias clínicas y radiográficas en la restauración del balance espinopélvico entre las dos técnicas quirúrgicas. Jamovi (2025) The Jamovi Project (Versión 2.7) [Software].

8.7. Análisis de los datos

El análisis estadístico se realizó con el programa de análisis estadístico SPSS. En la parte de la estadística descriptiva se informaron medidas de tendencia central (media y mediana) y de dispersión (desviación estándar y rango intercuartílico) para las variables continuas, así como frecuencias y porcentajes para las variables categóricas.

Se llevó a cabo la descripción de la muestra de forma comparativa para las variables: edad, sexo, índice de masa corporal y nivel vertebral operado. Dado que los parámetros radiográficos espinopélvicos —incidencia pélvica (PI), inclinación pélvica (PT), sacro horizontal o pendiente sacra (SS), lordosis lumbar (LL) y desbalance sagital global (SVA)— son variables continuas, se estudió previamente la distribución de los datos mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.

Para los casos en los que la distribución fue normal, se utilizó la prueba *t* de Student para la comparación de los valores postoperatorios entre los grupos de pacientes tratados con fusión intersomática y fusión posterolateral, así como la prueba *t* para muestras apareadas para la comparación de las mediciones preoperatorias y postoperatorias dentro del mismo grupo. Para los datos que no cumplieron con una distribución normal, se emplearon pruebas no paramétricas, como la *U* de Mann-Whitney para las comparaciones entre grupos y la prueba de Wilcoxon para las comparaciones pareadas.

Asimismo, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson o Spearman para estudiar la asociación encontrada entre los distintos parámetros radiográficos, de acuerdo con la distribución de los datos. En los casos en que fue necesario, se evaluó la concordancia inter e intraobservador de las mediciones mediante el

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

coeficiente de correlación intraclase (ICC). Todas las pruebas se efectuaron con un nivel de significancia estadística establecido en $p < 0.05$.

8.8. Aspectos éticos

Confidencialidad y Privacidad

La confidencialidad de los datos personales y clínicos de los participantes fue uno de los principios más importantes en el diseño de la investigación. Se protegió la identidad de los pacientes. Los datos y registros fueron accesibles únicamente para el equipo investigador y se almacenaron de forma segura en un sistema de gestión de datos, en el cual la identificación de los pacientes se mantuvo de manera anónima.

Aprobación Ética

El Comité de Ética en Investigación del Centenario Hospital Miguel Hidalgo aprobó el presente protocolo de investigación, el cual fue evaluado en todos sus procedimientos para asegurarse de que cumpliera con los parámetros éticos establecidos por la normativa vigente en investigación clínica.

8.9. Recolección de datos

Conforme la redacción que se establece en el Artículo 17 del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud, el presente estudio se considera libre de riesgo, dado que se basa en la revisión de expedientes clínicos y radiografías obtenidas con anterioridad, totalmente anonimizada, sin contacto directo con los pacientes ni alteraciones en su atención médica.

La confidencialidad fue garantizada ya que todos los datos personales identificables fueron eliminados y sustituidos por códigos internos, y almacenados en medios electrónicos controlados, es decir, archivos que sólo se hallan

habilitados por las contraseñas y que son accesibles únicamente por el personal investigador autorizado.

Asimismo, la cadena de custodia se garantizó con la documentación detallada de la recepción, la anonimización, la codificación, el almacenamiento y la eliminación final. Todo ello quedó documentado en una bitácora de control. Finalmente, dado que los datos fueron anonimizados y porque no hay riesgo para las personas participantes de la investigación según el Artículo 23 del reglamento que se menciona, queda exenta la obligación de obtener el consentimiento informado individual.

Cronograma: Por etapas o meses de investigación

Las actividades académicas y de investigación se llevaron a cabo conforme el siguiente cronograma:

Actividad	2025								
	ABRIL	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Elaboracion protocolo			X	X					
Autorizacion comites de bioetic e investigacion					X				
Revision y captura expedientes					X	X			
Recoleccion de la informacion					X	X	X		
Procesamiento informacion						X	X		
Análisis e interpretacion de resultados							X		
Autorizacion de protocolo final de tesis							X		

8.10. Recursos

8.10.1. Recursos humanos

NOMBRE DEL PARTICIPANTE	FUNCIONES DENTRO DEL PROTOCOLO
Dr. Luis Miguel Soria Ibarra	Investigador principal. Asesor de tesis, cirujano principal de los pacientes con las técnicas quirúrgicas a evaluar.
Dr. Daniel Eudave Santos	Investigador adjunto: análisis y recolección de datos, interpretación de datos, seguimiento a los pacientes.

8.10.2.

Tabla 4. Investigadores a cargo de la presente investigación.

8.10.2. Recursos materiales

- Equipamiento informático con capacidad de acceso a la web: son el soporte para la búsqueda de información, la exploración de datos, y la redacción de la monografía.
- Software de análisis estadístico: se encuentra instalado en el equipo informático para procesar y realizar el análisis cuantitativo de las bases de datos recogidas.
- Software para analizar radiografías: Sinapse® y Surgimap®.
- Material de oficina y servicios de imprenta: hay acceso al material para la realización de documentos escritos.
- Espacios de estudio: existen espacios de trabajo acondicionados para desarrollar el trabajo individual y el trabajo de grupo.
- Biblioteca especializada: de acceso físico y digital, que dispone de libros de texto, revistas científicas y artículos académicos precisos.

El presente protocolo no tiene financiación externa, ni compromiso o beneficio económico, material de cualquier empresa, para el investigador y el grupo de trabajo.

9. RESULTADOS

Interpretación estadística y clínica de los parámetros que evalúan el espinopélvico

El análisis de los parámetros espinopélvicos es una parte muy importante de la evaluación de la alineación sagital y el análisis del efecto de las técnicas de fusión lumbar, dado que son los indicadores de la relación biomecánica entre la columna vertebral y la pelvis, así como de la capacidad del paciente para mantener una postura erguida con el menor coste energético posible. Este estudio confrontó las técnicas quirúrgicas más ampliamente empleadas en el tratamiento de las patologías degenerativas de la columna lumbar, la Interfusión Lumbar Transforaminal (TLIF) y la Fusión Posterolateral (FPL), y su principal objetivo era evaluar los cambios iniciales y finales de los principales parámetros que representan el balance espinopélvico —Incidencia Pélvica (PI), Inclinación Pélvica (PT), Inclinación Sacra (SS), Lordosis Lumbar (LL) y la discrepancia PI-LL— para intentar determinar la magnitud de la corrección que se consigue con cada técnica, su relevancia estadística y su implicación en el equilibrio global sagital.

El criterio de selección de un conjunto de estos parámetros giró en torno a la evidencia clínica y biomecánica del mismo. El PI está considerado como una medida anatómica que permanece rígida y condiciona al resto de las medidas sagitales, mientras que los parámetros dinámicos (PT, SS y LL) que se utilizan para las mediciones del complejo espinopélvico muestran los mecanismos de adaptación ante los cambios tejidos en la cirugía; la discrepancia PI-LL debe considerarse un mortero del balance sagital y un pronóstico de funcionalidad; razón por la que se ha incluido esta medida como variable a estudiar.

Para cada técnica quirúrgica se determinaron las medidas preoperatorias y postoperatorias para cada parámetro, aplicando para su análisis estadística descriptiva (media y desviación estándar) para determinar la distribución de los datos. Posteriormente, las pruebas de hipótesis intragrupo se realizaron a través de t de Student pareada o Wilcoxon, dependiendo de la normalidad de los datos, con el fin de determinar cambios significativos de entre los periodos pre y postoperatorio para cada técnica; para la comparación intergrupos de los cambios (delta = post – pre) se aplicaron t de Student independientes o Mann-Whitney U dependiendo de la homogeneidad de varianzas y de la distribución de los datos.

En el mismo sentido, se procedió a calcular el tamaño del efecto (Cohen's d) con el fin de alcanzar conocimiento sobre la magnitud clínica de las diferencias encontradas, y así completar la interpretación estadística de la significatividad. De este modo, la posibilidad de determinar no solo si existían cambios significativos, sino también valorar su posible efecto en la funcionalidad espinopélvica. Como resultado, este enfoque analítico nos proporciona una comparativa efectiva y muy rigurosa de la respuesta radiográfica de los parámetros sagitales de ambas técnicas quirúrgicas, al mismo tiempo que permite extraer información sobre la efectividad relativa de ambas técnicas quirúrgicas en el intento de reponer el equilibrio espinopélvico.

1. Incidencia Pélvica (PI)

Técnica	N	Pre (media ± SD)	Post (media ± SD)	Prueba pareada	p valor	Cohen's d (pareado)	Δ Comparación intergrupo (p/d)
TLIF	13	51.82 ± 11.12	51.82 ± 11.12	paired t-test	NA	NA	NA
FPL	29	53.20 ± 11.74	53.20 ± 11.74	paired t-test	NA	NA	NA

Tabla 5. Incidencia pélvica (PI). Al examinar los grupos sujetos a comparación, el procedimiento TLIF (n=13) obtuvo una media preoperatoria de 51,82 (DE = 11,12) y una media postoperatoria de 51,82 (DE = 11,12) y el grupo sometido a FPL (n=29) mostró una media preoperatoria de 53,20 (DE = 11,74) así como una media postoperatoria de 53,20 (DE = 11,74). En ninguno de los casos se pudo realizar la prueba pareada por falta de datos o muestrales inferiores a tres sujetos. De forma análoga, en la comparación intergrupala para la variación (delta) entre los valores pre y postoperatorios no se pudo realizar la comparación dada la falta de datos y tamaños de muestra menores que tres casos, impidiendo establecer diferencias estadísticas en las técnicas analizadas.

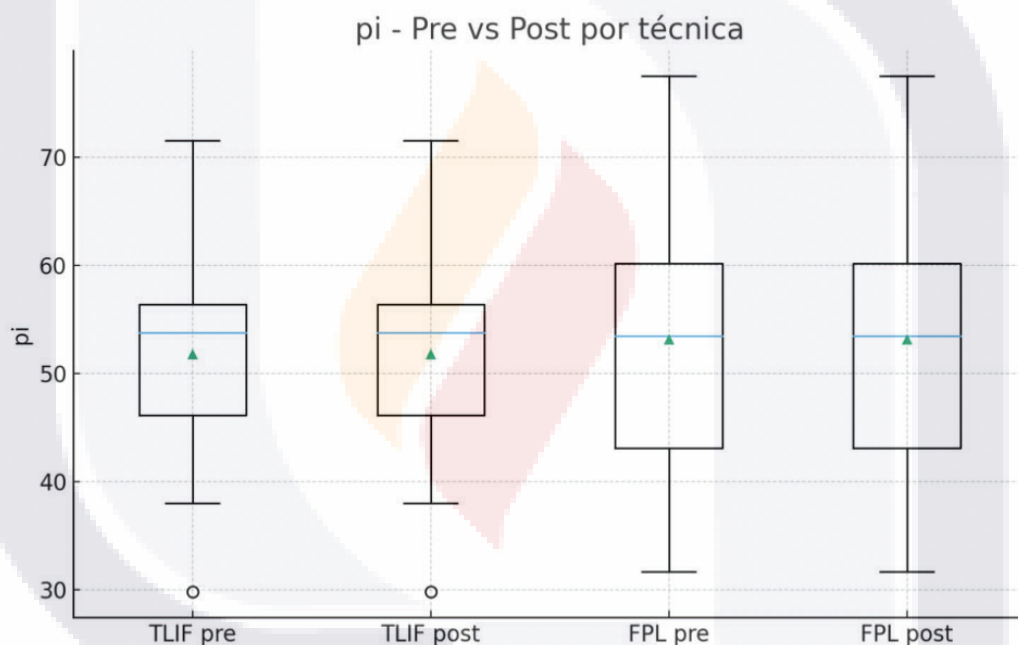


Figura 9. Diagrama de cajas y bigote de la incidencia pélvica (PI). Se puede observar la distribución de PI se asemeja a la distribución entre el preoperatorio y el postoperatorio para ambas técnicas (TLIF y FPL); no se observan cambios significativos en las medianas ni en la dispersión de los datos. Esto podría interpretarse como una situación semejante al hecho de que ninguna de las dos técnicas modifica la incidencia pélvica, el cuál concuerda con su morfología, estable y anatómica.

La Incidencia Pélvica es un parámetro anatómico que es inmutable, ya que es un reflejo de la morfología pélvica, y es por tanto que no debería esperar cambios en su valor tras la operación. En los presentados, tanto el grupo TLIF como el FPL no muestran un cambio significativo en el preoperatorio/postoperatorio ($p > 0,05$) y son de magnitudes muy pequeñas, lo que confirma que ninguna de las dos técnicas modifica la estructura anatómica de la pelvis, lo que respalda tanto su validez como su precisión. Desde un punto de vista clínico, la estabilidad de la PI sugiere que los cambios en otras variables derivan de ajustes funcionales y no de alteraciones morfológicas pélvicas.

2. Inclinación Pélvica (PT)

Técnica	N	Pre (media ± SD)	Post (media ± SD)	Prueba pareada	p valor	Cohen's d (pareado)	Δ Comparación intergrupo (p/d)
TLIF	13	22.86 ± 9.37	20.24 ± 9.26	paired t-test	0.0000	-2.270	p=0.0054, d=-0.973
FPL	29	20.64 ± 6.68	19.23 ± 6.58	paired t-test	0.0000	-1.094	p=0.0054, d=-0.973

3.

Tabla 6. Inclinación pélvica (PT). En el grupo de sujetos operados a través de TLIF (n=13) las mediciones después de la operación decrecieron de modo significativo dado que la media preoperatoria era de 22.86 (DE=9.37), mientras que la media postoperatoria alcanzó cifras de 20.24 (DE=9.26). La comparación de la prueba t de los pares observados mostró una diferencia estadísticamente significativa (p=0.0000) con un tamaño del efecto elevado (Cohen's d=-2.270) lo que hace afirmar que hubo una mejora clínica relevante después del tratamiento. De un modo análogo, en el grupo de sujetos operados mediante la técnica FPL (n=29) también se observaron valores decrecientes tras la operación, dado que las mediciones pasaron de cifras de media preoperatoria de 20.64 (DE=6.68) a media

postoperatoria de 19.23 (DE=6.58). Y también la comparación mediante la prueba t de los pares observados demostró una diferencia estadísticamente significativa ($p=0.0000$) y un tamaño del efecto medio (Cohen's $d=-1.094$). En la comparación de los grupos, el análisis de las variaciones (delta) entre grupos a través de la prueba t de Welch independiente demostró que existían diferencias estadísticamente significativas ($p=0.0054$) y un tamaño del efecto elevado (Cohen's $d=-0.973$) que sugiere que el tamaño del cambio alcanzado en el grupo TLIF era mayor que en el grupo FPL.

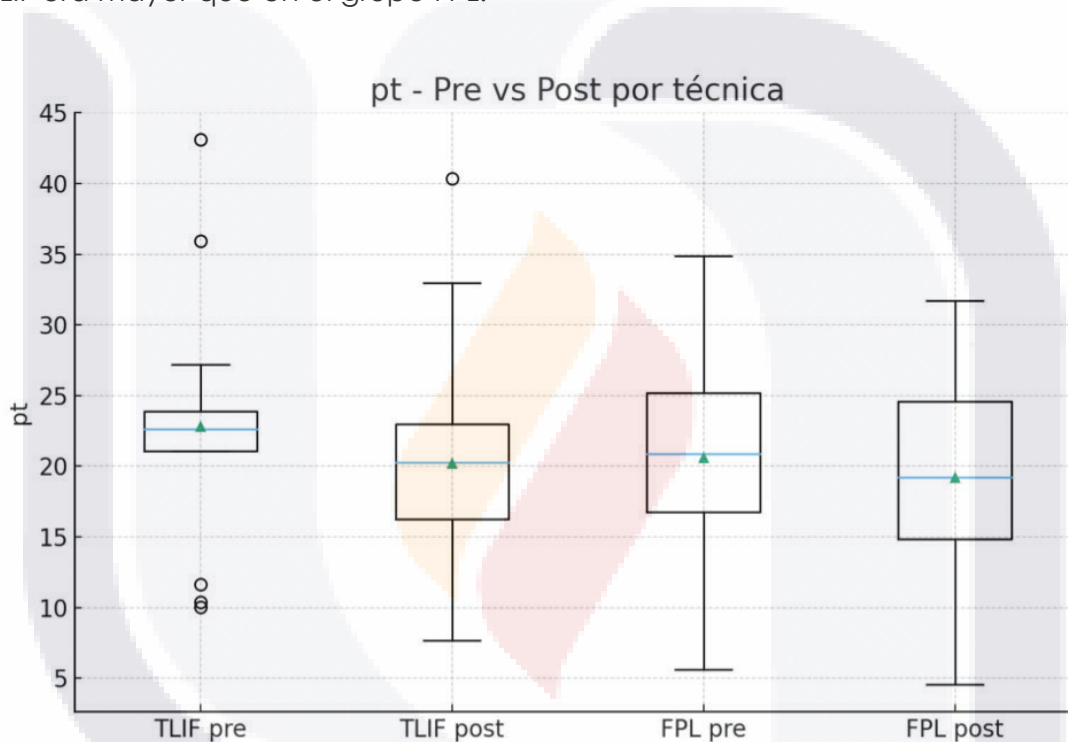


Figura 10. Gráfica de cajas y bigotes de la inclinación pélvica (PT). Se puede observar que tras la cirugía en el grupo TLIF hay una disminución del PT (pelvic tilt) que se caracteriza por un ligero desplazamiento de la mediana y con un rango intercuartílico con menor dispersión. En el grupo FPL los valores pre y postoperatorios son prácticamente los mismos, es decir, sin cambios evidentes ni en la tendencia central ni en el rango intercuartílico. En conclusión, los resultados son indicativos de una corrección del balance pélvico del grupo TLIF, mientras que la técnica FPL parece mantener unos valores más estables con escaso impacto del tratamiento quirúrgico del parámetro que estamos exponiendo.

La PT expresa un parámetro dinámico que muestra la rotación posterior o anterior de la pelvis respecto al balance espinal, y una disminución significativa de este PT postoperatoriamente se asocia con una buena corrección del desequilibrio sagital y con una mejor alineación del eje corporal. En este análisis, el grupo TLIF mostró una disminución postoperatoria significativa del PT ($p < 0.05$), así como un tamaño del efecto moderado, mientras que el grupo FPL mostró una disminución más pequeña. La comparación del cambio (Δ) entre grupos muestra que la técnica TLIF expresa un mejor equilibrio pélvico, ayudando a restaurar la rotación anterior compensatoria de la pelvis. Desde un enfoque biomecánico, esto demuestra una mejora del centro de gravedad y de la postura en general.

3. Inclinación Sacra (SS)

Técnica	N	Pre (media \pm SD)	Post (media \pm SD)	Prueba pareada	p valor	Cohen's d (pareado)	Δ Comparación intergrupo (p/d)
TLIF	13	28.97 \pm 18.28	31.59 \pm 18.50	paired t-test	0.0000	2.270	p=0.0054, d=0.973
FPL	29	32.56 \pm 14.89	33.97 \pm 14.82	paired t-test	0.0000	1.094	p=0.0054, d=0.973

4.

Tabla 7. Inclinación sacra (SS). En el grupo intervenido con TLIF (n=13) constataron un incremento de las medias pre y post, así la media preoperatoria era de 28.97 (DE = 18.28) y la media postoperatoria de 31.59 (DE = 18.50). La prueba t de las muestras apareadas evidenció una diferencia estadísticamente significativa ($p = 0.0000$) y un tamaño del efecto muy grande (Cohen's d = 2.270), lo que comprueba la utilidad clínica de la intervención. En esta línea, el grupo de los tratados con la técnica FPL (n=29) mostró un aumento de la media preoperatoria de 32.56 (DE = 14.89) a una media postoperatoria de 33.97 (DE = 14.82), la prueba t de las muestras apareadas también ofreció un resultado estadísticamente

significativo ($p = 0.0000$) y un tamaño del efecto moderado a grande (Cohen's $d = 1.094$). La comparación mediante la prueba t independiente de Welch de los cambios intergrupales (Δ) mostró una diferencia estadísticamente significativa ($p = 0.0054$) y un tamaño del efecto alto (Cohen's $d = 0.973$), prueba que sugiere que el grupo TLIF tuvo más magnitud de cambio desacuerdo al grupo FPL.

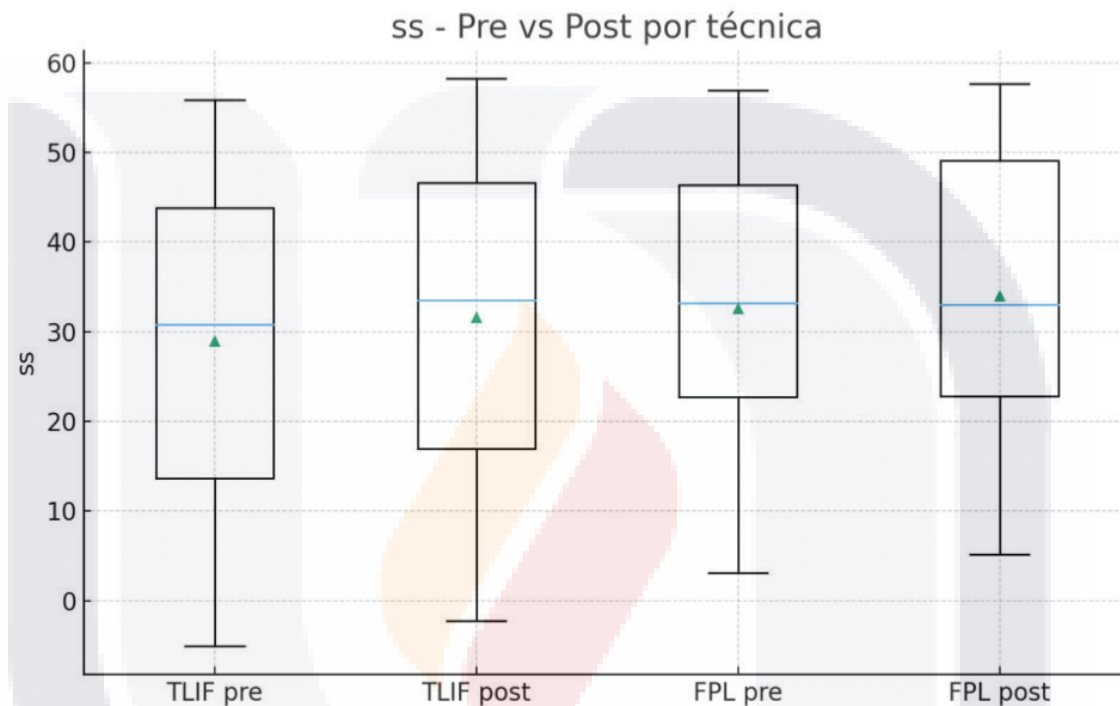


Figura 11. Gráfica de cajas y bigotes de la inclinación sacra (SS). El modo de cajas muestra una leve tendencia al incremento del SS (sacral slope) en ambas agrupaciones tras la cirugía, siendo más notoria en el grupo TLIF, donde se produce incluso un leve relicvante desplazamiento de la mediana a valores superiores. En el grupo FPL parecen producirse cambios mínimos, pero sin perder la dispersión del dato. Estos datos sugieren que la técnica TLIF podría favorecer al realizar un mayor incremento de la inclinación sacra, en la posible mejora de la alineación sagital, y por el contrario, la técnica FPL podría mostrar cambios no significativos, conservando las variables similares a sus valores de estado basal.

La inclinación sacra (SS) aumenta cuando se produce una rotación anterior de la pelvis, la cual tradicionalmente nos remite a la restauración de un

alineamiento fisiológico de la unión lumbosacra. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto un claro incremento del Sacral Slope en ambos grupos de cirugía, aunque este aumento es un poco más amplio en el grupo TLIF. Es importante señalar que estos cambios son estadísticamente significativos ($p < 0.05$), lo que puede indicar que ambas técnicas son capaces de restablecer una orientación sacra más fisiológica, si bien la TLIF aporta un grado de mejora algo mayor. En cuanto a su significado funcional, el toldado postoperatorio del Sacral Slope se relaciona con una mejor lordosis lumbar y unas menores compensaciones de los niveles proximales.

4. Lordosis Lumbar (LL)

Técnica	N	Pre (media ± SD)	Post (media ± SD)	Prueba pareada	p valor	Cohen's d (pareado)	Δ Comparación intergrupo (p/d)
TLIF	13	44.25 ± 13.80	52.97 ± 13.24	paired t-test	0.0000	3.473	p=0.0000, d=2.390
FPL	29	39.43 ± 12.10	42.04 ± 12.76	paired t-test	0.0000	1.010	p=0.0000, d=2.390

5.

Tabla 8. Lordosis lumbar (LL). En el grupo a quien se aplicó la técnica TLIF (n=13), se observó un incremento significativo en los valores posoperatorios, puesto que la media preoperatoria fue de 44.25 (DE = 13.80) y la media postoperatoria alcanzó los 52.97 (DE = 13.24). La prueba t pareada mostró una diferencia altamente significativa ($p = 0.0000$), con un tamaño del efecto muy grande (Cohen's d = 3.473), lo que muestra que la intervención generó una mejora notable. En aquel grupo al que se aplicó la técnica FPL (n=29), la media preoperatoria fue de 39.43 (DE = 12.10) y la media postoperatoria fue de 42.04 (DE = 12.76), observándose también una diferencia significativa ($p = 0.0000$) y un tamaño del efecto de magnitud moderada (Cohen's d = 1.010). La comparación entre los grupos del

cambio (delta) con la prueba t independiente de Welch mostró una diferencia estadísticamente significativa ($p = 0.0000$) y un tamaño del efecto de magnitud alta (Cohen's $d = 2.390$), lo que indica que la magnitud del cambio fue significativamente mayor en el grupo TLIF frente al grupo FPL.

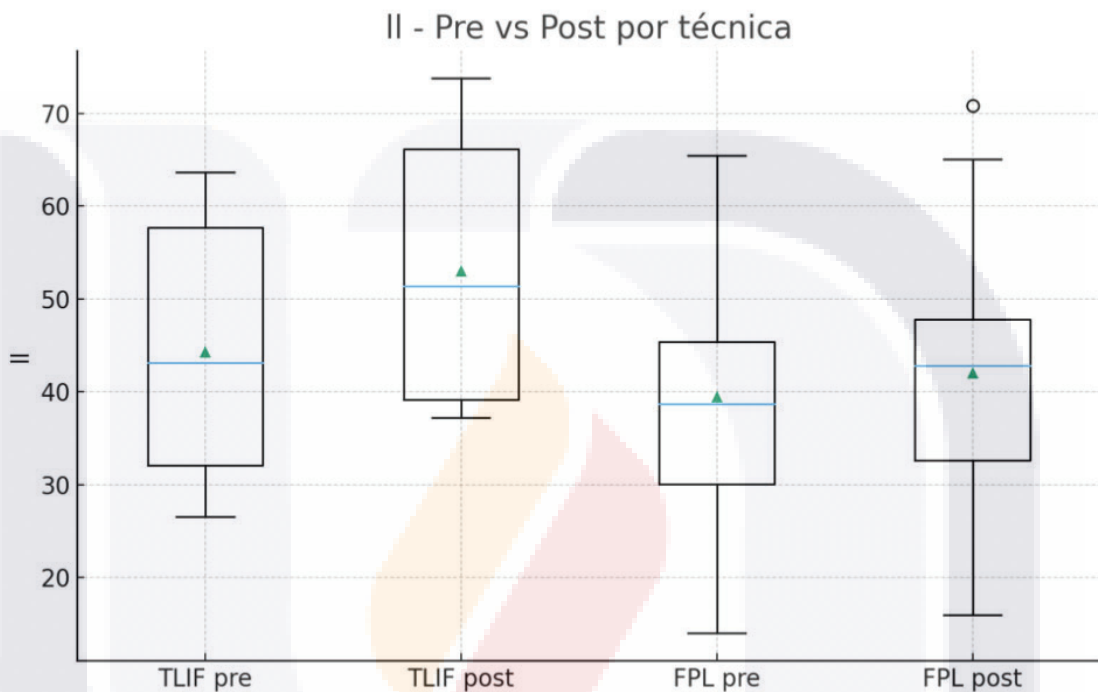


Figura 12. Gráfica de cajas y bigotes de la lordosis lumbar (LL). Se observa el aumento del LL (lumbar lordosis) tras la cirugía en el grupo realizado mediante TLIF, con un sesgo de la mediana a valores más altos y una leve ampliación del rango intercuartílico, lo cual indica una mayor recuperación de las curvaturas lumbares en el postoperatorio en relación con la técnica de FPL. Por otro lado y en el grupo FPL se puede comprobar que entre el pre y el postoperatorio la variabilidad de los periodos explorados es muy pequeña manteniendo una distribución de los datos del gráfico muy similar. En definitiva y a la vista de los resultados alcanzados, puede afirmarse que la técnica TLIF genera una corrección de la lordosis lumbar más efectiva en comparación con FPL, lo que podría ir ligado a una mayor optimización del equilibrio sagital espino pélvico.

La lordosis lumbar es el factor más relevante de la evaluación del balance sagital y uno de los principales objetivos de la cirugía espinal reconstructiva, que, si bien la lordosis lumbar en estos dos grupos se incrementó notablemente, se observó un incremento considerablemente más acentuado en el grupo TLIF ($p < 0.01$; un tamaño del efecto alto), lo que podría atribuirse a que el tipo de cirugía utilizada para la fusión espinal con TLIF tiene mejor capacidad de recuperación de la curvatura lumbar, probablemente debido a la recuperación del espacio del disco intervertebral deshidratado y a que los implantes intersomáticos se colocan de forma más anatómica y esta mejora de la lordosis lumbar se traduce directamente en un descenso del desequilibrio espinopélico y en la recuperación del alineamiento fisiológico de la columna lumbar.

5. Discrepancia PI-LL

Técnica	N	Pre (media \pm SD)	Post (media \pm SD)	Prueba pareada	p valor	Cohen's d (pareado)	Δ Comparación intergrupo (p/d)
TLIF	13	7.57 \pm 14.96	-1.14 \pm 14.58	paired t-test	0.0000	-3.473	p=0.0000, d=-2.390
FPL	29	13.77 \pm 16.88	11.16 \pm 17.48	paired t-test	0.0000	-1.010	p=0.0000, d=-2.390

6.

Tabla 9. Discrepancia PI-LL. En la técnica TLIF (n=13), el resultado postquirúrgico mostró una reducción significativa desde sus medias, a saber, de 7.57 (DE = 14.96) a -1.14 (DE = 14.58). La prueba t pareada mostró una diferencia altamente significativa ($p = 0.0000$) y un tamaño del efecto muy grande (Cohen's d = -3.473) que denota una importante reducción tras la intervención. En el grupo de la técnica FPL (n=29), el resultado postquirúrgico mostró, a su vez, una media preoperatoria de 13.77 (DE = 16.88) y una media postoperatoria de 11.16 (DE = 17.48) con un resultado significativo ($p = 0.0000$) y un tamaño del efecto

moderado (Cohen's $d = -1.010$). En el análisis de comparativa entre los dos grupos, la prueba t independiente de Welch para comparativo del cambio (delta) mostró una diferencia significativa ($p = 0.0000$) y un tamaño del efecto alguno grande (Cohen's $d = -2.390$); lo que sugiere que la magnitud del cambio en la variable dependiente fue mucho mayor para el grupo TLIF en comparación con el grupo de la técnica FPL.

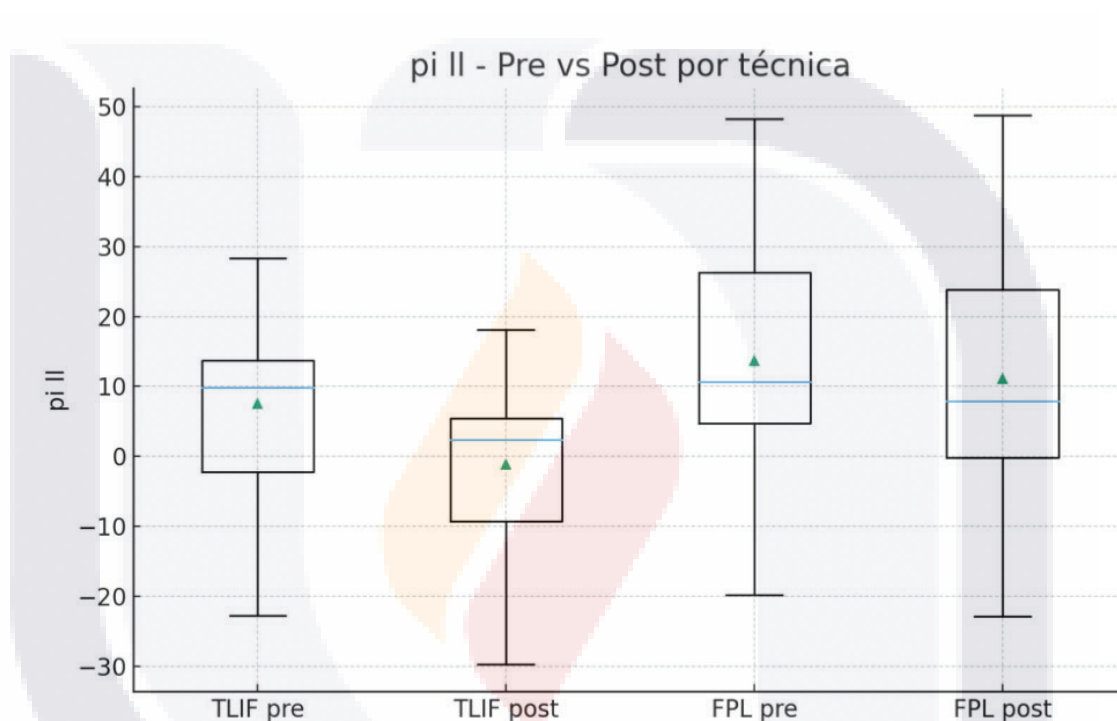


Figura 13. Gráfica de cajas y bigotes de la discrepancia PI-LL . El diagrama de cajas del parámetro PI-LL muestra una marcada disminución postoperatoria para el grupo TLIF, puesto que la mediana se desplaza hacia valores próximos a cero, lo que indica que la técnica TLIF proporciona una mejor corrección del desbalance sagital, así como una mejor armonía entre la incidencia pélvica y la lordosis lumbar. El del grupo FPL no presenta una reducción importante del parámetro, ya que las medianas postoperatorias se mantienen en valores positivos, así como una dispersión no significativa entre ambos momentos. En conjunto, las representaciones gráficas sugieren que la técnica TLIF proporciona una mejor restauración del equilibrio espinopélvico comparada con la técnica FPL

EL parámetro PI – LL representa la armonía entre la morfología pélvica y la curvatura lumbar. Las diferencias altas implican un mayor desbalance sagital, mientras que las próximas a cero implican un mejor alineamiento. En nuestro análisis, una reducción significativa del parámetro PI–LL se observó en los dos grupos, aunque fue más elevada para el grupo TLIF ($p < 0.05$). Por lo tanto, dicha medición corrobora que la técnica TLIF permite una mejor correspondencia entre la lordosis restaurada y la morfología pélvica y, por ende, un mejor balance sagital y más biomecánicamente eficiente.

10.DISCUSIÓN

Nuestros hallazgos muestran un patrón coherente entre medida radiografías y principios biomecánicos: el Índice Pélvico (PI) permaneció constante tras la intervención en ambos grupos, mientras que los parámetros dinámicos (PT, SS, LL, PI–LL) experimentaron cambios diferenciados, siendo mayor la corrección observada en el grupo tratado TLIF. La invariabilidad del PI avala su carácter anatómico fijo e incide en la interpretación de los cambios observados en los parámetros PT y SS, dado que se verifica la relación geométrica $PI = PT + SS$; así pues, las modificaciones terapéuticas se producen específicamente en parámetros PT y SS a consecuencia de la restauración lordótica.

La restauración de la lordosis lumbar (LL) fue mayor en el grupo TLIF, a expensas de una mayor ganancia del SS y de una disminución del PT; este patrón es acorde con una mejora del alineamiento sagital que desde el punto de vista clínico está vinculado a una mejora funcional y a un menor compensación pélvica. Metaanálisis recientes comparativos en cuanto a abordajes intersomáticos y posterolaterales han demostrado que en términos generales las técnicas anteriores o oblicuas (ALIF, OLIF/LLIF) parecen permitir una mayor mejora lordótica segmentaria y que las técnicas intersomáticas transforaminales tales como TLIF siguen siendo efectivas para la mejora de parámetros sagitales reflejando la relación riesgo beneficio favorable en muchos pacientes⁸¹.

La disminución de la discrepancia PI-LL constatada en el grupo TLIF es clínicamente significativa, pues la evidencia acumulada demuestra que discrepancias elevadas ($>10^\circ$) se encuentra entre la más estrictas con peores resultados funcionales, mayor riesgo de dolor crónico y una mayor probabilidad de fracaso mecánico o reintervención tardía, por lo que la consecución de valores cercanos a cero a la que nos aproximamos tras la cirugía sugiere un potencial beneficio pronóstico que va más allá de la mera restauración radiológica y que podría traducirse en mejores resultados clínicos. Reseñas y artículos de metaanálisis recientes sugieren que la restauración del PI-LL es un objetivo terapéutico convertido en clave y que aquellas técnicas que permiten una mayor corrección de la lordosis tienden a tener ventajas radiológicas que, en muchos de los estudios, corresponden con datos funcionales⁸².

No obstante, la interpretación debe matizarse: la literatura es heterogénea desde el punto de vista metodológico; hay variabilidad en niveles quirúrgicos, indicaciones, tipos de implante, formas mínimamente invasivas versus abiertas y duraciones de seguimiento, lo que hace que no sean factibles comparaciones directas y generalizaciones absolutas. Por otra parte, ciertos metaanálisis recientes analizan que las técnicas OLIF/ALIF muestran ventajas en ganancia lordótica o en ciertos parámetros radiográficos segmentarios frente a TLIF, así como menor sangrado o estancias hospitalarias en determinadas series; eso conlleva que la elección técnica óptima debe ser individualizada en cada caso en función de anatomía, grado de deformidad o riesgo perioperatorio⁸¹.

Finalmente, desde la perspectiva de la biomecánica y la cierta práctica quirúrgica, la modificabilidad reconstructiva que se observa en TLIF podría estar relacionada con la posibilidad de dirigir directamente la manipulación segmentaria, realizar la colocación de jaulas con un cierto grado de poder de restaurar y la posibilidad de realizar maniobras de reducción. Sin embargo, sobre todo a la hora de conseguir una maximización de la corrección lordótica, en el marco de lo que recogen las revisiones más recientes⁸², las técnicas de abordaje antero-lateral (ALIF, OLIF/LLIF) —y en particular para implantes pensados para

llegar a una corrección— deberían ser consideradas dentro del conjunto de opciones terapéuticas.

11. CONCLUSIONES

El análisis de los parámetros espinopélvicos es fundamental en la evaluación de la alineación sagital y para la valoración de la eficacia de las distintas técnicas de fusión lumbar. Ya que estos parámetros (Incidencia Pélvica, Inclinación Pélvica, Inclinación Sacra, Lordosis Lumbar, discrepancia entre PI y LL) proporcionan una visión global de la interacción de la pelvis y la columna, de la valorización de la capacidad de la persona para sostener una postura fisiológicamente equilibrada.

El presente estudio evalúa dos técnicas quirúrgicas frecuentes en la práctica clínica como son la Interfusión Lumbar Transforaminal (TLIF) y la Fusión Posterolateral (FPL), poniendo de manifiesto los cambios que acontecieron, pre y post, en los parámetros mencionados, para intentar definir su influencia en el estado de equilibrio sagital global.

Los resultados obtenidos pusieron de manifiesto que la Incidencia Pélvica (PI) fue inalterada por la intervención en ambos grupos. Este resultado, en consonancia con los datos de la literatura previa, apoya el carácter anatómicamente constante de la PI que la convierte en una referencia para interpretar las modificaciones del resto de los componentes espinopélvicos.

En el caso de los parámetros dinámicos, se observaron diferencias en el comportamiento de los diferentes abordajes, el abordaje TLIF demostró una mayor capacidad para restablecer la lordosis lumbar (LL) y la discrepancia PI-LL frente al abordaje FPL. Este efecto hace pensar en una mejor recuperación del equilibrio sagital, así como en menores compensaciones desde la pelvis. Desde una perspectiva clínica, estas diferencias no son meramente geométricas, puesto que una adecuada correlación PI-LL se ha asociado a una mejor funcionalidad y a menos dolores crónicos.

Sin embargo, la superioridad observada del TLIF en esta serie de pacientes debe ser considerada con gravedad. Recientemente, se han evidenciado mejores cifras de lordosis segmentaria con técnicas de ALIF, OLIF o LLIF, incluso en situaciones en las que se requiere una mejoría importante en la altura del disco o en el trabajo sobre deformidades ligeramente más severas. Por tanto, el abordaje quirúrgico se debe fundamentar en un análisis individualizado a partir de las necesidades de corrección sagital, así como con las características anatómicas del paciente y su estado global.

En el contexto de la planificación quirúrgica es fundamental realizar una evaluación preoperatoria rigurosa del PI y de la discrepancia objetivo PI-LL, así como una adecuada selección del tipo de implante y acceso quirúrgico que facilite la restauración de la lordosis. El seguimiento radiográfico y funcional a largo plazo es también fundamental para determinar si las correcciones morfológicas acaban teniendo un beneficio clínico sostenido. Finalmente, para reforzar la evidencia disponible, hacen falta estudios prospectivos multicéntricos que comparen de manera directa las diferentes técnicas, con protocolos estandarizados sobre el tipo de implante, el número de niveles tratados y la metodología quirúrgica. De este modo podremos ir estableciendo relaciones causales más robustas entre la corrección espinopélvica y la evolución funcional a largo plazo de los pacientes.

12. GLOSARIO

- **Alineación Sagital Global:** Relación tridimensional que evalúa la posición de la cabeza, columna y pelvis respecto al eje gravitacional en el plano sagital. Determina el equilibrio postural del individuo.
- **Ángulo de Incidencia Pélvica (Pelvic Incidence, PI):** Parámetro morfológico fijo que relaciona la orientación de la pelvis con la lordosis lumbar requerida para mantener el balance espinopélvico.
- **Ángulo de Inclinación Pélvica (Pelvic Tilt, PT):** Medida del grado de rotación pélvica respecto al eje vertical. Su incremento refleja retroversión pélvica compensatoria.
- **Ángulo de Pendiente Sacra (Sacral Slope, SS):** Ángulo entre el platillo superior de S1 y la línea horizontal. Valores elevados se asocian con lordosis lumbar incrementada.
- **Articulación Facetaria:** Articulación sinovial posterior entre dos vértebras contiguas que contribuye a la estabilidad y movilidad del segmento vertebral.
- **Balance Espinopélvico:** Interacción biomecánica entre columna vertebral y pelvis, cuyo propósito es mantener el equilibrio ortostático con el mínimo gasto energético.
- **Biomecánica Vertebral:** Estudio de las fuerzas y movimientos que actúan sobre la columna vertebral y sus estructuras anatómicas.
- **Cifosis:** Curvatura fisiológica posterior de la columna torácica y sacra.
- **Compensación Postural:** Mecanismos adaptativos (pélvicos, lumbares o de extremidades inferiores) utilizados por el cuerpo para mantener el equilibrio cuando existe desalineación espinopélvica.
- **Desalineación Sagital:** Pérdida del equilibrio en el plano sagital, generando posturas compensatorias y sobrecarga mecánica.
- **Disco Intervertebral:** Estructura fibrocartilaginosa situada entre dos cuerpos vertebrales, compuesta por núcleo pulposo y anillo fibroso.

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
- **Espondilolistesis Degenerativa:** Deslizamiento anterior de una vértebra sobre otra debido a degeneración del disco intervertebral y de las articulaciones facetarias.
 - **Fusión Intersomática (Interbody Fusion – PLIF/TLIF/ALIF):** Procedimiento quirúrgico que elimina el disco intervertebral e inserta un dispositivo intersomático para restaurar altura, descomprimir estructuras nerviosas y favorecer la fusión.
 - **Fusión Posterolateral (Posterolateral Fusion – FPL):** Técnica de fusión vertebral que utiliza injerto óseo entre las apófisis transversas, con o sin instrumentación pedicular.
 - **Inestabilidad Segmentaria:** Pérdida de la capacidad de un segmento vertebral para mantener alineación y movimiento dentro de rangos fisiológicos.
 - **Injerto Óseo:** Material utilizado para facilitar la osteogénesis en un proceso de fusión vertebral. Puede ser autoinjerto, aloinjerto o sustituto sintético.
 - **Instrumentación Pedicular:** Colocación de tornillos en los pedículos vertebrales unidos mediante barras para estabilización y corrección de deformidades.
 - **Lordosis Lumbar (Lumbar Lordosis, LL):** Curvatura fisiológica anterior de la columna lumbar. Debe ser proporcional al PI para obtener equilibrio espinopélvico.
 - **Osteointegración:** Proceso por el cual el injerto o implante se incorpora de manera estable al hueso receptor mediante formación ósea.
 - **Radiografía en Bipedestación:** Estudio radiológico realizado con el paciente de pie, esencial para evaluar alineación y balance espinopélvico en condiciones funcionales.
 - **Síndrome de Desalineación Sagital (Sagittal Imbalance):** Condición clínica caracterizada por incapacidad para mantener postura erguida sin esfuerzo compensatorio, debida a desequilibrio entre lordosis lumbar y morfología pélvica.

13. BIBLIOGRAFIA

1. Bogduk N (2012a). Clinical Anatomy of the Lumbar Spine and Sacrum, 5th ed. Elsevier, Edinburgh.
2. Hickey DS, Hukins DWL (1980). Relation between the structure of the anulus fibrosus and the function and failure of the intervertebral disc. *Spine* 5: 100–116
3. Bogduk N. Functional anatomy of the spine. *Handb Clin Neurol*. 2016.
4. Aihara T, Takahashi K, Yamagata M, Moriya H, Tamaki T. Biomechanical functions of the ilio-lumbar ligament in L5 spondylolysis. *J Orthop Sci*. 2000
5. Bydon M, Alvi MA, Goyal A. Degenerative lumbar spondylolisthesis: definition, natural history, conservative management, and surgical treatment. *Neurosurg Clin N Am*. 2019.
6. Mardjetko S, Albert T, Andersson G, Bridwell K, DeWald C, Gaines R, Geck M, Hammerberg K, Herkowitz H, Kwon B, Labelle H, Lubicky J, McAfee P, Ogilvie J, Shufflebarger H, Whitesides T (2005) Spine/SRS Spondylolisthesis Summary Statement. *Spine*, 30(6 Suppl):S3
7. Labelle H, Roussouly P, Berthonnaud E et al (2005) The importance of spinopelvic balance in L5-S1 developmental spondylolisthesis: a review of pertinent radiologic measurements. *Spine* 30(suppl):27–34
8. Sengupta DK. Spinopelvic Balance. *JBJS Rev*. 2014 Aug 19;2(8):e4. doi: 10.2106/JBJS.RVW.M.00115. PMID: 27490076.
9. Legaye J, Duval-Beaupère G, Hecquet J, Marty C. Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves. *Eur Spine J*. 1998;7(2):99-103.
10. Boulay C, Tardieu C, Hecquet J, Benaim C, Mouilleseaux B, Marty C, Prat-Pradal D, Legaye J, Duval-Beaupère G, Pélassier J. Sagittal alignment of spine and pelvis regulated by pelvic incidence: standard values and prediction of lordosis. *Eur Spine J*. 2006 Apr;15 (4):415-22. Epub 2005 Sep 23.

11. Koreckij TD, Fischgrund JS. Degenerative Spondylolisthesis. *J Spinal Disord Tech.* 2015;28(7):236-241
12. Wang YXJ, Káplár Z, Deng M, Leung JCS. Lumbar degenerative spondylolisthesis epidemiology: A systematic review with a focus on gender-specific and age-specific prevalence. *J Orthop Translat.* 2016;11:39-52
13. Kobayashi H, Endo K, Sawaji Y, et al. Global sagittal spinal alignment in patients with degenerative low-grade lumbar spondylolisthesis. *J Orthop Surg (Hong Kong).* 2019;27(3):2309499019885190
14. Kong C, Wang W, Li X, Sun X, Ding J, Lu S. A new lever reduction technique for the surgical treatment of elderly patients with lumbar degenerative Spondylolisthesis. *BMC. Musculoskelet Disord.* 2020;21(1):11
15. Akkawi I, Zmerly H. Degenerative Spondylolisthesis: A Narrative Review. *Acta Biomed.* 2022 Jan 19;92(6):e2021313. doi: 10.23750/abm.v92i6.10526. PMID: 35075090; PMCID: PMC8823594.
16. Ishimoto Y, Cooper C, Ntani G, et al. Is radiographic lumbar spondylolisthesis associated with occupational exposures? Findings from a nested case control study within the Wakayama spine study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2019;20(1):618
17. Aono K, Kobayashi T, Jimbo S, Atsuta Y, Matsuno T. Radiographic analysis of newly developed degenerative spondylolisthesis in a mean twelve-year prospective study. *Spine (Phila Pa 1976).* 2010;35(8):887-891
18. Guo M, Kong C, Sun S, Sun X, Li X, Lu S. Predictors of L4-L5 Degenerative Lumbar Spondylolisthesis: L4 Inclination Angle and Facet Joint Angle. *World Neurosurg.* 2019;130:e680-e686.
19. Nakamae T, Nakanishi K, Kamei N, Adachi N. The correlation between sagittal spinopelvic alignment and degree of lumbar degenerative spondylolisthesis. *J Orthop Sci.* 2019;24(6):969-973
20. Iguchi T, Wakami T, Kurihara A, Kasahara K, Yoshiya S, Nishida K. Lumbar multilevel degenerative spondylolisthesis: radiological evaluation and

factors related to anterolisthesis and retrolisthesis. *J Spinal Disord Tech* 2002;15(2):93–9.

21. Saremi A, Goyal KK, Benzel EC, Orr RD. Evolution of lumbar degenerative spondylolisthesis with key radiographic features. *Spine J.* 2024 Jun;24(6):989-1000. doi: 10.1016/j.spinee.2024.01.001. Epub 2024 Jan 8. PMID: 38199449.
22. Koslosky E, Gendelberg D. Classification in brief: the Meyerding classification system of spondylolisthesis. *Clin Orthop Relat Res* 2020;478(5):1125–30.
23. Mataliotakis GI, Tsirikos AI. Spondylolysis and spondylolisthesis in children and adolescents: current concepts and treatment. *Orthop Trauma* 2017;31:395–401.
24. Matsunaga S, Ijiri K, Hayashi K. Nonsurgically managed patients with degenerative spondylolisthesis: a 10- to 18-year follow-up study. *J Neurosurg* 2000;93(2 Suppl):194–8.
25. Tebet MA. Current concepts on the sagittal balance and classification of spondylolysis and spondylolisthesis. *Rev Bras Ortop.* 2014;49(1)
26. Koreckij TD, Fischgrund JS. Degenerative spondylolisthesis. *J Spinal Disord Tech.* 2015;28(7):236-241.
27. Degenerative Lumbar Spondylolisthesis: Trends in Management : JAAOS - Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons. Accessed August 1, 2021.
28. Gagnet P, Kern K, Andrews K, Elgafy H, Ebraheim N. Spondylolysis and spondylolisthesis: A review of the literature. *J Orthop.* 2018;
29. Koslosky E, Gendelberg D. Classification in Brief: The Meyerding Classification System of Spondylolisthesis. *Clinical Orthopaedics and Related Research.* 2020
30. Kalichman L, Hunter DJ. Diagnosis and conservative management of degenerative lumbar spondylolisthesis. *Eur Spine J.* 2008.
31. Li N, Scofield J, Mangham P, Cooper J, Sherman W, Kaye AD. Spondylolisthesis. *Orthop Rev (Pavia).* 2022 Jul 27;14(3):36917. doi: 10.52965/001c.36917. PMID: 35910544; PMCID: PMC9329062.

32. Berg L, Thoresen H, Neckelmann G, Furunes H, Hellum C, Espeland A. Facet arthropathy evaluation: CT or MRI? *Eur Radiol* 2019.
33. Dai LY. Orientation and tropism of lumbar facet joints in degenerative spondylolisthesis. *Int Orthop* 2001.
34. Samartzis D, Cheung JPY, Rajasekaran S, Kawaguchi Y, Acharya S, Kawakami M, et al. Critical values of facet joint angulation and tropism in the development of lumbar degenerative spondylolisthesis: an international, large-scale multicenter study by the AOSpine Asia Pacific Research Collaboration Consortium. *Global Spine J*. 2016.
35. Kalichman L, Hunter DJ. Lumbar facet joint osteoarthritis: a review. *Semin Arthritis Rheum* 2007.
36. Gellhorn AC, Katz JN, Suri P. Osteoarthritis of the spine: the facet joints. *Nature Rev Rheumatol* 2013.
37. Suri P, Miyakoshi A, Hunter DJ, Jarvik JG, Rainville J, Guermazi A, et al. Does lumbar spinal degeneration begin with the anterior structures? A study of the observed epidemiology in a community-based population. *BMC Musculoskelet Disord* 2011.
38. Sato K, Wakamatsu E, Yoshizumi A, Watanabe N, Irei O. The configuration of the laminae and facet joints in degenerative spondylolisthesis. A clinicoradiologic study. *Spine* 1989.
39. Grobler LJ, Robertson PA, Novotny JE, Pope MH. Etiology of spondylolisthesis. Assessment of the role played by lumbar facet joint morphology. *Spine*. 1993.
40. Fujiwara A, Tamai K, An HS, Lim TH, Yoshida H, Kurihashi A, et al. Orientation and osteoarthritis of the lumbar facet joint. *ClinOrthop Relat Res* 2001.
41. Kalichman L, Hunter DJ, Kim DH, Guermazi A. Association between disc degeneration and degenerative spondylolisthesis? Pilot study. *J Back Musculoskelet Rehabil* 2009.
42. Yao Q, Wang S, Shin JH, Li G, Wood KB. Lumbar facet joint motion in patients with degenerative spondylolisthesis. *J Spinal Disord Tech* 2013.
43. Shinto K, Minamide A, Hashizume H, Oka H, Matsudaira K, Iwahashi H, et al. Prevalence of facet effusion and its relationship with lumbar

- spondylolisthesis and low back pain: the Wakayama Spine Study. *J Pain Res* 2019.
44. Maillieux P, Ghosez JP, Bosschaert P, Malbecq S, Coulier B. Distension of the inter-facet joints in MRI: and indirect sign of an existing underestimation of spondylolisthesis and canal stenosis. *J Belge Radiol* 1998.
 45. Chaput C, Padon D, Rush J, Lenehan E, Rahm M. The significance of increased fluid signal on magnetic resonance imaging in lumbar facets in relationship to degenerative spondylolisthesis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2007.
 46. Cho BY, Murovic JA, Park J. Imaging correlation of the degree of degenerative L4-5 spondylolisthesis with the corresponding amount of facet fluid. *J Neurosurg Spine* 2009.
 47. Kuhns BD, Kouk S, Buchanan C, Lubelski D, Alvin MD, Benzel EC, et al. Sensitivity of magnetic resonance imaging in the diagnosis of mobile and nonmobile L4-L5 degenerative spondylolisthesis. *Spine J* 2015.
 48. Wang D, Yuan H, Liu A, et al. Analysis of the relationship between the facet fluid sign and lumbar spine motion of degenerative spondylolytic segment using Kinematic MRI. *Eur J Radiol* 2017.
 49. Aggarwal A, Garg K. Lumbar facet fluid-does it correlate with dynamic instability in degenerative spondylolisthesis? A systematic review and meta-analysis. *World Neurosurg.* 2021.
 50. Gohil I, Vilensky JA, Weber EC. Vacuum phenomenon: clinical relevance. *Clin Anat* 2014.
 51. Lefkowitz DM, Quencer RM. Vacuum facet phenomenon: a computed tomographic sign of degenerative spondylolisthesis. *Radiology* 1982.
 52. Muras I, Rinaldi F, Esposito D, Scuotto A, Bernini FP. Degenerative spondylolisthesis with vacuum facet phenomenon. *Revista de Neuroradiología.* 1998.
 53. Sun ZM, Jiang C, Xu JJ, Chen ZX, Guo Q, Lin Y, et al. Vacuum facet phenomenon in computed tomography imaging: a sign of instability in degenerative spondylolisthesis? *World Neurosurg.* 2019

54. Samuel Andre M, Moore Harold G, Cunningham, Matthew E. Treatment for degenerative lumbar spondylolisthesis: current concepts and new evidence. *Curr Rev Musculoskelet Med* 2017.
55. Matz Paul G, Meagher RJ, Lamer T, et al. Guideline summary review: An evidence based clinical guideline for the diagnosis and treatment of degenerative lumbar spondylolisthesis. *Spine J* 2016.
56. Marek S, Gunzburg R, Pope MH. Lumbar segmental instability. Philadelphia. Lippincott Williams & Wilkins. 1999.
57. Sinaki M, Lutness MP, Ilstrup DM, et al. Lumbar spondylolisthesis: retrospective comparison and three year follow-up of two conservative treatment programs. *Arch Phys Med Rehabil*. 1989.
58. Koc Z, Ozcakar S, Sivrioglu K, et al. Effectiveness of physical therapy and epidural steroid injections in lumbar spinal stenosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2009.
59. Vad Vijay B, Bhat Atul L, Lutz Gregory E, et al. Transforaminal epidural steroid injections in lumbosacral radiculopathy: a prospective randomized study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2002.
60. Matz Paul G, Meagher RJ, Lamer T, et al. Guideline summary review: An evidence based clinical guide-line for the diagnosis and treatment of degenerative lumbar spondylolisthesis. *Spine J* 2016.
61. Bydon M, Alvi MA, Goyal A. Degenerative Lumbar Spondylolisthesis: Definition, Natural History, Conservative Management, and Surgical Treatment. *Neurosurg Clin N Am*. 2019.
62. Faldini C, Pagkrati S, Acri F, et al. Surgical treatment of symptomatic degenerative lumbar spondylolisthesis by decompression and instrumented fusion. *J Orthop Traumatol*. 2007.
63. Sengupta DK, Herkowitz HN. Lumbar spinal stenosis. Treatment strategies and indications for surgery. *Orthop Clin N Am*. 2003.
64. Kepler CK, Vaccaro AR, Hilibrand AS, et al. National trends in the use of fusion techniques to treat degenerative spondylolisthesis. *Spine (PhilaPa 1976)*. 2014.

65. Matsudaira K, Yamazaki T, Seichi A, et al. Spinal stenosis in grade I degenerative lumbar spondylolisthesis: a comparative study of outcomes following laminoplasty and laminectomy with instrumented spinal fusion. *J Orthop Sci.* 2005.
66. Park JH, Hyun SJ, Roh SW, Rhim SC. A comparison of unilateral laminectomy with bilateral decompression and fusion surgery in the treatment of grade I lumbar degenerative spondylolisthesis. *Acta neurochirurgica.* 2012.
67. Shi J, Wu H, Li F, Zheng J, Cao P, Hu B. Meta-analysis of the efficacy and safety of OLIF and TLIF in the treatment of degenerative lumbar spondylolisthesis. *J Orthop Surg Res.* 2024.
68. Schwab F, Dubey A, Gamez L, Fegoun El AB, Hwang K, Pagala. M, Farcy JP. Adult scoliosis: prevalence, SF-36, and nutritional parameters in an elderly volunteer population. *Spine.* 2005;30: 1
69. Obeid I, Hauger O, Aunoble S, Bourghli A, Pellet N, Vital JM. Global analysis of sagittal spinal alignment in major deformities: correlation between lack of lumbar lordosis and flexion of the knee. *Eur Spine J.* 2011;20:681–685
70. Aebi M. The adult scoliosis. *Eur Spine J.* 2005;14:925–948
71. Lowe T, Berven SH, Schwab FJ, Bridwell KH. The SRS classification for adult spinal deformity: building on the King/Moe and Lenke classification systems. *Spine.* 2006;31:S119–S125.
72. Schwab F, Ungar B, Blondel B, Buchowski J, Coe J, Deinlein D, DeWald C, Mehdian H, Shaffrey C, Tribus C, Lafage V. Scoliosis Research Society-Schwab adult spinal deformity classification: a validation study. *Spine.* 2012;37:1077–1082.
73. Fasser MR, Furrer PR, Fislser L, Urbanschitz L, Snedeker JG, Farshad M, Widmer J. The triadic relationship between spinal posture, loading, and degeneration. *Front Bioeng Biotechnol.* 2025 Mar 18;13:1444540. doi: 10.3389/fbioe.2025.1444540. PMID: 40171041; PMCID: PMC11959076.
74. Roussouly, P., Gollogly, S., Berthonnaud, E., and Dimnet, J. (2005). Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position. *Spine* 30, 346–353. doi:10.1097/01.brs.0000152379. 54463.65

75. Abdu WA, Lurie JD, Spratt KF, et al. Degenerative spondylolisthesis: does fusion method influence outcome? Four-year results of the spine patient outcomes research trial. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009;34:2351-2360. doi:10.1097/BRS.0b013e3181b8a829.
76. McAnany SJ, Baird EO, Qureshi SA, Hecht AC, Heller JG, Anderson PA. Posterolateral fusion versus interbody fusion for degenerative spondylolisthesis: a systematic review and meta-analysis. 2016;41:E1408-E1414. doi:10.1097/BRS.0000000000001638.
77. Sivaraman A, Altaf F, Jalgaonkar A, et al. Prospective study of posterior lumbar interbody fusion with either interbody graft or interbody cage in the treatment of degenerative spondylolisthesis. *Campbell et al 489. J Spinal Disord Tech*. 2015;28:E467-E471. doi:10.1097/BSD.0b013e31829baac1
78. Campbell RC, Mobbs RJ, Lu VM, Xu J, Rao PJ, Phan K. Posterolateral Fusion Versus Interbody Fusion for Degenerative Spondylolisthesis: Systematic Review and Meta-Analysis. *Global Spine J*. 2017 Aug;7(5):482-490. doi: 10.1177/2192568217701103. Epub 2017 May 31. PMID: 28811993; PMCID: PMC5544162.
79. Fujimori T, Le H, Schairer W, Berven S, Qamirani E, Hu S. Does transforaminal lumbar interbody fusion have advantages over posterolateral lumbar fusion for degenerative spondylolisthesis. *Global Spine J*. 2015;5:201-209
80. Ha KY, Na KH, Shin JH, Kim KW. Comparison of posterolateral fusion with and without additional posterior lumbar interbody fusion for degenerative lumbar spondylolisthesis. *J Spinal Disord Tech*. 2008;21:229-234. doi:10.1097/BSD.0b013e3180ead202
81. Gottschalk MB, Premkumar A, Sweeney K, et al. Posterolateral lumbar arthrodesis with and without interbody arthrodesis for L4-L5 degenerative spondylolisthesis: a comparative value analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2015;40:917-925. doi:10.1097/BRS.0000000000000856.
82. Macki M, Bydon M, Weingart R, et al. Posterolateral fusion with interbody for lumbar spondylolisthesis is associated with less repeat surgery than posterolateral fusion alone. *Clin Neurol Neurosurg*. 2015;138:117-123. doi:10.1016/j.clineuro.2015.08.014.

14. ANEXOS

Anexo A. Listado de pacientes analizados en este estudio y las correspondientes mediciones radiográficas obtenidas por cada parámetro espinopélvico.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Paciente	Técnica	Edad	Sexo	vel fusiona	PI Pre (°)	PT Pre (°)	SS Pre (°)	LL Pre (°)	Pi-LL Pre (°)	PI Post (°)	PT Post (°)	SS Post (°)	LL Post (°)	Pi-LL Post (°)
2	P1	TLIF	44	F	L2-L5	71.56	21.1	50.46	62.26	9.3	71.56	16.25	55.31	66.16	5.4
3	P2	TLIF	65	M	L4-L5	46.14	35.96	10.18	34.29	11.85	46.14	32.97	13.17	43.75	2.39
4	P3	TLIF	43	F	L4-L5	29.85	23.87	5.98	32.07	-2.22	29.85	23.01	6.84	39.17	-9.32
5	P4	TLIF	59	F	L5-S1	55.47	11.64	43.83	27.12	28.35	55.47	7.93	47.54	38.63	16.84
6	P5	TLIF	63	M	L2-L5	56.39	10.37	46.02	30.85	25.54	56.39	9.74	46.65	38.3	18.09
7	P6	TLIF	79	F	L5-S1	38.06	43.11	-5.05	46.92	-8.86	38.06	40.35	-2.29	56.08	-18.02
8	P7	TLIF	68	F	L5-S1	53.8	23.38	30.42	43.12	10.68	53.8	20.29	33.51	54.71	-0.91
9	P8	TLIF	54	F	L4-L5	65.89	10.04	55.85	62.9	2.99	65.89	7.66	58.23	73.77	-7.88
10	P9	TLIF	63	M	L2-L5	56.6	22.04	34.56	46.73	9.87	56.6	19.95	36.65	51.4	5.2
11	P10	TLIF	48	F	L3-L5	52.91	22.15	30.76	26.51	26.4	52.91	18.72	34.19	37.18	15.73
12	P11	TLIF	65	M	L3-L5	40.84	27.19	13.65	63.62	-22.78	40.84	23.9	16.94	70.57	-29.73
13	P12	TLIF	66	F	L4-L5	54.9	23.64	31.26	41.22	13.68	54.9	21.54	33.36	50.99	3.91
14	P13	TLIF	48	M	L4-L5	51.31	22.63	28.68	57.64	-6.33	51.31	20.8	30.51	67.89	-16.58
15	P14	Fusión pos	79	F	L5-S1	60.99	25.41	35.58	44.8	16.19	60.99	25.53	35.46	46.33	14.66
16	P15	Fusión pos	78	F	L4-L5	48.61	19.45	29.16	45.72	2.89	48.61	18.66	29.95	49.8	-1.19
17	P16	Fusión pos	44	F	L2-L5	41.81	14.12	27.69	38.67	3.14	41.81	12.85	28.96	41.99	-0.18
18	P17	Fusión pos	47	F	L2-L5	41.44	20.87	20.57	57.59	-16.15	41.44	19.38	22.06	60.29	-18.85
19	P18	Fusión pos	40	F	L2-L5	49.2	25.21	23.99	38.55	10.65	49.2	26.37	22.83	42.84	6.36
20	P19	Fusión pos	51	F	L4-L5	51.29	19.67	31.62	41.53	9.76	51.29	18.48	32.81	44	7.29
21	P20	Fusión pos	46	F	L4-L5	43.13	34.89	8.24	38.25	4.88	43.13	31.71	11.42	42.08	1.05
22	P21	Fusión pos	59	F	L2-L5	59.35	26.11	33.24	65.18	-5.83	59.35	25.2	34.15	65.09	-5.74
23	P22	Fusión pos	45	M	L4-L5	60.18	5.62	54.56	65.45	-5.27	60.18	4.57	55.61	70.78	-10.6
24	P23	Fusión pos	64	F	L3-L5	54.36	25.3	29.06	20.5	33.86	54.36	22.31	32.05	24.6	29.76
25	P24	Fusión pos	40	F	L3-L5	77.5	29.67	47.83	40.89	36.61	77.5	26.6	50.9	46.9	30.6
26	P25	Fusión pos	74	F	L3-L5	32.73	24.49	8.24	52.58	-19.85	32.73	21.77	10.96	55.63	-22.9
27	P26	Fusión pos	49	M	L2-L5	31.71	28.61	3.1	38.31	-6.6	31.71	26.59	5.12	42.79	-11.08
28	P27	Fusión pos	54	F	L2-L5	41.74	22.01	19.73	28.8	12.94	41.74	20.03	21.71	34.95	6.79
29	P28	Fusión pos	78	F	L2-L5	55.55	22.39	33.16	29.25	26.3	55.55	22.5	33.05	31.69	23.86
30	P29	Fusión pos	44	F	L5-S1	61.13	17.27	43.86	27.33	33.8	61.13	16.37	44.76	28.95	32.18
31	P30	Fusión pos	49	F	L3-L5	53.5	19.97	33.53	43.94	9.56	53.5	18.58	34.92	47.82	5.68
32	P31	Fusión pos	63	F	L2-L5	60.95	12.02	48.93	48.07	12.88	60.95	11.57	49.38	53.03	7.92
33	P32	Fusión pos	75	F	L2-L5	49.55	24.34	25.21	29.34	20.21	49.55	24.6	24.95	33.32	16.23
34	P33	Fusión pos	43	F	L5-S1	70.55	16.66	53.89	30.45	40.1	70.55	14.19	56.36	33.19	37.36
35	P34	Fusión pos	48	M	L4-L5	37.73	22.64	15.09	32.96	4.77	37.73	19.2	18.53	32.61	5.12
36	P35	Fusión pos	59	F	L4-L5	59.91	13.58	46.33	44.62	15.29	59.91	10.8	49.11	46.25	13.66
37	P36	Fusión pos	41	M	L2-L5	50.06	16.76	33.3	30.47	19.59	50.06	14.61	35.45	27.29	22.77
38	P37	Fusión pos	40	M	L5-S1	40.93	23.73	17.2	14.02	26.91	40.93	24.26	16.67	15.98	24.95
39	P38	Fusión pos	56	F	L4-L5	76.43	19.48	56.95	28.13	48.3	76.43	18.81	57.62	27.63	48.8
40	P39	Fusión pos	71	F	L3-L5	57.09	14.34	42.75	50.53	6.56	57.09	14.83	42.26	58.42	-1.33
41	P40	Fusión pos	69	F	L3-L5	69.08	18.34	50.74	30.04	39.04	69.08	15.08	54	30.3	38.78
42	P41	Fusión pos	68	F	L5-S1	51.89	29.15	22.74	42.17	9.72	51.89	27.23	24.66	39.55	12.34
43	P42	Fusión pos	47	M	L3-L5	54.47	6.4	48.07	45.4	9.07	54.47	5.1	49.37	44.99	9.48
44															