



## TESIS DOCTORAL

Departamento de Cirugía. Facultad de Medicina y Odontología. Universitat de València.

# RESECCIONES SACRAS EN TUMORES PRIMARIOS. RESULTADOS FUNCIONALES Y ESTUDIO BIOMECÁNICO DE RECONSTRUCCIÓN

Ana María Morales Codina - Enero, 2017





VNIVERSITAT  
DE VALÈNCIA

**DEPARTAMENTO DE CIRUGÍA**  
**Facultad de Medicina y Odontología.**  
Programa de doctorado de Medicina (3139)

**RESECCIONES SACRAS EN TUMORES PRIMARIOS. RESULTADOS FUNCIONALES  
Y ESTUDIO BIOMECÁNICO DE RECONSTRUCCIÓN**

**AUTORA:**

ANA MARÍA MORALES CODINA

**DIRECTORES:**

Dr. D. Juan Antonio Martín Benlloch

Dr. D. Rafael González Díaz

Dr. D. Ferran Pellisé Urquiza

**Enero, 2017**



D. **JUAN ANTONIO MARTIN BENLOCH** Jefe de Sección de la Unidad de Raquis del Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología del Hospital Universitario Doctor Peset Aleixandre de Valencia.

D. **RAFAEL GONZÁLEZ DÍAZ**, Jefe de Sección de la Unidad de Raquis del del Servicio Cirugía Ortopédica y Traumatología del Hospital Universitario Fundación de Alcorcón de Madrid.

D. **FERRAN PELLISÉ URQUIZA**, Jefe de Sección del Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología del Hospital Universitari de Vall d'Hebron de Barcelona.

**CERTIFICA/N:**

Que la presente memoria, titulada **"RESECCIONES SACRAS EN TUMORES PRIMARIOS. RESULTADOS FUNCIONALES Y ESTUDIO BIOMECÁNICO DE RECONSTRUCCIÓN"**, corresponde al trabajo realizado bajo su dirección por Dña. **ANA MARÍA MORALES CODINA**, para su presentación como Tesis Doctoral en el Programa de Doctorado en Fisiología de la Universitat de València.

Y para que conste firma/n el presente certificado en Valencia, a 11 de enero de 2017.



Fdo. JUAN ANTONIO  
MARTÍN BENLOCH



Fdo. RAFAEL  
GONZÁLEZ DÍAZ



Fdo. FERRAN  
PELLISÉ URQUIZA



“En realidad las cosas verdaderamente difíciles  
son todo lo que la gente cree poder hacer cada momento”.  
Julio Cortázar



Dedicada a mis padres,  
el espejo donde me miro para saber quién soy.



# AGRADECIMIENTOS

Esta tesis doctoral es el esfuerzo y sacrificio de muchas personas que a nivel personal y profesional se han mantenido a mi lado siempre.

Agradezco al Dr. Juan Antonio Martín Benlloch su ayuda inestimable a la hora de realizar este trabajo. Gracias por su asesoramiento, por dejar que me apodere de sus buenas ideas y ayudarme a darles forma. A nivel personal, quiero destacar su cariño incondicional, su humildad y compañerismo. Nunca olvidaré cómo me acompañó en uno de los momentos más duros de mi vida. Gracias por tu energía contagiosa y a veces, solo a veces, agotadora. Muchas gracias, amigo.

Al Dr. Francesc Girvent Montllor, la persona que siempre me ha acompañado en esta aventura de la columna. Al que admiro personal y profesionalmente, por su coherencia, integridad y saber hacer. El día que me dijo que se sentía muy orgulloso de mí fue uno de los más felices de mi vida. Muchas gracias Siscu, siempre.

A Diego Valverde Belda, Sonia Muñoz Donat y Rafael Aguirre García, por el día a día. Gracias por enseñarme constantemente en todos los sentidos. Gracias por vuestras lecciones, complicidad, alegría y por ese valenciano chapurreado con el que me río a carcajada limpia. Os debo más de lo que imagináis.

Al Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología del Hospital Universitario Doctor Peset Alexandre, a sus residentes, adjuntos y jefe de Servicio, a los que debo enseñanzas y cariño.

Al Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología del Hospital Parc Taulí de Sabadell, donde fui criada. Muchas gracias a todos los residentes y adjuntos. De todos recibí muy buenas enseñanzas que me han convertido en lo que soy ahora.

A Marta Jorge Vispo, por ser mi compañera de vida. Por su integridad, coherencia y valentía. Por escucharme, entenderme y quererme. Este trabajo nunca podría haberse finalizado sin ella, sin nuestras conversaciones, sin su apoyo y sin sus golpes en la cabeza. Gracias por estar y compartir siempre conmigo.

A Ana Belén, Anna, Rubén y Franco, por su dulzura, sus risas, sus buenos consejos y su comprensión. Han sido unos años duros en los que no he podido estar todo lo que hubiera querido. Gracias por todo lo vivido y por lo que nos queda. Os quiero mucho, mucho, mucho...

Al resto de amigos, gracias por comprender todas mis ausencias y por enseñarme a vivir. Nunca os podré devolver todo lo que os debo.

A mis padres, mi gran tesoro y mi gran suerte. Gracias por su paciencia y por su habilidad de bajarme a la realidad cuando hace falta, de forma no intencionada. Gracias por vuestro esfuerzo, vuestra dedicación y por creer en mí como nadie. Nunca os soltaré de la mano.

A los que no están y deberían. A los que no son, pero estarán. Y a los que se fueron libremente para no volver nunca.



# ÍNDICES y ABREVIATURAS





# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>31</b>
<b>1.1. TUMORES SACROS</b>	<b>31</b>
1.1.1. GENERALIDADES	31
1.1.2. TUMORES ÓSEOS PRIMARIOS	31
1.1.2.1. CORDOMA	31
1.1.2.2. TUMOR DE CÉLULAS GIGANTES	33
1.1.2.3. SARCOMA DE EWING	36
1.1.2.4. CONDROSARCOMA	37
1.1.2.5. OSTEOSARCOMA	38
1.1.2.6. PLASMOCITOMA Y MIELOMA MÚLTIPLE	39
1.1.2.7. LINFOMA PRIMARIO	40
1.1.2.8. QUISTE ÓSEO ANEURISMÁTICO	40
1.1.3. TUMORES NEUROGÉNICOS	41
1.1.3.1. SCHWANOMA	41
1.1.3.2. EPENDIMOMA	42
1.1.3.3. TUMOR MALIGNO DE VAINA NERVIOSA	42
1.1.4. TUMORES PRESACROS	43
1.1.4.1. TERATOMA SACROCCÍGEO	43
<b>1.2. ANATOMÍA QUIRÚRGICA DE LA REGIÓN SACROPÉLVICA</b>	<b>44</b>
1.2.1. CINTURA PÉLVICA	44
1.2.2. ESTRUCTURAS ÓSEAS	44
1.2.2.1. SACRO	44
1.2.2.2. CÓCCIX	47
1.2.2.3. HUESO COXAL	47
1.2.2.4. ARTICULACIÓN LUMBOSACRA	48
1.2.2.5. ARTICULACIÓN SACROILÍACA	48
1.2.3. ESTRUCTURAS LIGAMENTOSAS	51
1.2.3.1. COMPLEJO LIGAMENTOSO POSTERIOR	51
1.2.3.2. COMPLEJO LIGAMENTOSO ANTERIOR	51
1.2.3.3. LIGAMENTOS ACCESORIOS	52
1.2.4. MUSCULATURA	53
1.2.4.1. MÚSCULOS ABDOMINALES Y COLUMNA VERTEBRAL	53
1.2.4.2. MÚSCULOS PELVITROCANTÉREOS	57
1.2.5. FASCIA TÓRACOLUMBAR	59
1.2.6. FORÁMENES DE LA PELVIS	59
1.2.6.1. FORAMEN CIÁTICO MAYOR	59
1.2.6.2. FORAMEN CIÁTICO MENOR	59
1.2.7. PAREDES Y SUELO DE LA CAVIDAD PÉLVICA	60
1.2.7.1. PAREDES PÉLVICAS	61
1.2.8. PERITONEO Y CAVIDAD PERITONEAL DE LA PELVIS	65
1.2.9. ÓRGANOS DE LA CAVIDAD PÉLVICA	65
1.2.10. ANATOMÍA VASCULAR	67
1.2.10.1. SISTEMA ARTERIAL	67
1.2.10.2. SISTEMA VENOSO	70

1.2.11. ANATOMÍA NERVIOSA .....	71
1.2.11.1. SACO TECAL Y FILUM TERMINALE .....	71
1.2.11.2. PLEXO LUMBAR .....	71
1.2.11.3. PLEXO SACRO .....	71
1.2.11.4. PLEXO COCCÍGEO .....	73
1.2.12. GANGLIOS LINFÁTICOS DE PERINÉ Y PELVIS .....	76
<b>1.3. BIOMECÁNICA DE LA CINTURA PÉLVICA Y DE LAS ARTICULACIONES SACROILÍACAS .....</b>	<b>77</b>
1.3.1. CINTURA PÉLVICA .....	77
1.3.2. DISTRIBUCIÓN DE CARGAS .....	77
1.3.3. MOVILIDAD DE LA ARTICULACIÓN SACROILÍACA .....	78
1.3.3.1. MOVIMIENTOS DEL SACRO, LOS ILÍACOS Y LA PELVIS .....	78
1.3.3.2. ARTICULACIÓN LUMBOSACRA .....	82
1.3.3.3. MOVILIDAD DE LA SÍNFISIS PÚBICA .....	83
1.3.4. ESTABILIDAD DE LA ARTICULACIÓN SACROILÍACA .....	83
1.3.4.1. GENERALIDADES .....	83
1.3.4.2. SISTEMAS DE BLOQUEO .....	83
1.3.5. INFLUENCIA DE LA POSICIÓN SOBRE LAS ARTICULACIONES DE LA CINTURA PELVIANA .....	87
1.3.5.1. LA PELVIS EN BIPEDESTACIÓN ESTÁTICA .....	87
1.3.5.2. LA PELVIS EN DINÁMICA .....	88
1.3.5.3. LA PELVIS EN DESCARGA .....	89
<b>1.4. PLANIFICACIÓN QUIRÚRGICA .....</b>	<b>90</b>
1.4.1. INTRODUCCIÓN .....	90
1.4.2. EVALUACIÓN PREOPERATORIA .....	90
1.4.2.1. EVALUACIÓN RADIOLÓGICA .....	90
1.4.2.2. EVALUACIÓN HISTOLÓGICA .....	90
1.4.2.3. ESTADIFICACIÓN ONCOLÓGICA .....	91
1.4.2.4. VALORACIÓN ANESTÉSICA PREOPERATORIA .....	91
1.4.3. PLANIFICACIÓN DEL TIPO DE RESECCIÓN Y DE LOS MÁRGENES QUIRÚRGICOS .....	91
1.4.4. PLANIFICACIÓN QUIRÚRGICA .....	91
1.4.4.1. ELECCIÓN DEL ABORDAJE .....	91
1.4.4.2. ELECCIÓN DEL NIVEL DE LAS OSTEOTOMÍAS .....	91
1.4.4.3. NECESIDAD DE ESTABILIZACIÓN .....	92
1.4.4.4. REALIZACIÓN DE PROCEDIMIENTOS NECESARIOS ANTES DE LA CIRUGÍA .....	92
<b>1.5. CLASIFICACIÓN QUIRÚRGICA DE LAS SACRECTOMÍAS .....</b>	<b>93</b>
1.5.1. INTRODUCCIÓN .....	93
1.5.2. SISTEMA CLASIFICACIÓN DE FOURNEY et al. (82) DE RESECCIONES EN BLOQUE DEL SACRO .....	93
1.5.3. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE ZHANG et al. (202) RESECCIONES EN BLOQUE DEL SACRO .....	95
1.5.4. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE LI et al. (199) EN RESECCIONES EN BLOQUE DEL SACRO .....	98
<b>1.6. RESECCIÓN QUIRÚRGICA DEL TUMOR SACROPÉLVICO .....</b>	<b>99</b>
1.6.1. INTRODUCCIÓN .....	99
1.6.2. INDICACIONES DE LA SACRECTOMÍA .....	99
1.6.3. CONTRAINDICACIONES DE LA SACRECTOMÍA .....	99

1.6.4. TÉCNICA QUIRÚRGICA DE LA SACRECTOMÍA .....	100
1.6.4.1. ABORDAJES .....	100
1.6.4.2. DISECCIÓN Y RESECCIÓN SACRA .....	102
<b>1.7. RECONSTRUCCIÓN DE LOS TEJIDOS BLANDOS .....</b>	<b>109</b>
1.7.1. GENERALIDADES .....	109
1.7.2. TIPO DE COLGAJOS .....	110
1.7.2.1. COLGAJO DE GLÚTEOS .....	110
1.7.2.2. COLGAJO VRAM .....	111
1.7.2.3. COLGAJOS LIBRES .....	111
1.7.2.4. OMENTO .....	111
<b>1.8. RECONSTRUCCIÓN DE LA ESTABILIDAD ESPINOPÉLVICA .....</b>	<b>112</b>
1.8.1. INTRODUCCIÓN .....	112
1.8.1.1. CONSECUENCIAS MECÁNICAS DE SACRECTOMÍA E INDICACIONES DE LA RECONSTRUCCIÓN ESPINOPÉLVICA .....	112
1.8.1.2. OBJETIVO DE LA RECONSTRUCCIÓN .....	112
1.8.2. TIPOS DE RECONSTRUCCIÓN DE LA ESTABILIDAD ESPINOPÉLVICA .....	113
1.8.2.1. INTRODUCCIÓN .....	113
1.8.2.2. TÉCNICAS DE RECONSTRUCCIÓN .....	113
1.8.2.3. COMPLICACIONES DE LA INSTRUMENTACIÓN .....	119
1.8.2.4. INJERTO ÓSEO EN LA RECONSTRUCCIÓN .....	120
<b>1.9. RESULTADOS CLÍNICOS DE LA SACRECTOMÍA .....</b>	<b>121</b>
1.9.1. RESULTADOS QUIRÚRGICOS .....	121
1.9.1.1. INTRODUCCIÓN .....	121
1.9.1.2. COMPLICACIONES QUIRÚRGICAS GENERALES .....	121
1.9.1.3. COMPLICACIONES MAYORES .....	121
1.9.1.4. COMPLICACIONES MENORES .....	123
1.9.2. RESULTADOS ONCOLÓGICOS .....	123
1.9.3. RESULTADOS FUNCIONALES .....	124
1.9.3.1. GENERALIDADES .....	124
1.9.3.2. FUNCIÓN MOTORA EN MIEMBROS INFERIORES .....	124
1.9.3.3. FUNCIÓN VESICAL E INTESTINAL .....	124
1.9.3.4. FUNCIÓN SEXUAL .....	125
1.9.3.5. SENSIBILIDAD .....	125
1.9.3.6. DOLOR .....	126
<b>1.10. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO .....</b>	<b>126</b>
<b>2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS .....</b>	<b>129</b>
<b>2.1. HIPÓTESIS .....</b>	<b>129</b>
2.1.1. ESTUDIO CLÍNICO .....	129
2.1.2. ESTUDIO BIOMECÁNICO EXPERIMENTAL .....	129
<b>2.2. OBJETIVOS .....</b>	<b>129</b>
2.2.1. ESTUDIO CLÍNICO .....	129
2.2.1.1. OBJETIVO GENERAL .....	129
2.2.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	129
2.2.2. ESTUDIO BIOMECÁNICO EXPERIMENTAL .....	130
2.2.2.1. OBJETIVO GENERAL .....	130
2.2.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	130

<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>133</b>
<b>3.1. ESTUDIO CLÍNICO DE SACRECTOMÍA EN BLOQUE POR TUMORES PRIMARIOS DE SACRO</b>	<b>133</b>
3.1.1. DISEÑO DEL ESTUDIO. MUESTRA. CRITERIOS DE SELECCIÓN	133
3.1.1.1. DISEÑO DEL ESTUDIO	133
3.1.1.2. PERIODO DEL ESTUDIO	133
3.1.1.3. POBLACIÓN ESTUDIADA	133
3.1.1.4. SELECCIÓN DE LA MUESTRA	133
3.1.2. ASPECTOS ÉTICOS	133
3.1.3. VARIABLES RECOGIDAS	134
3.1.3.1. VARIABLES DEMOGRÁFICAS	134
3.1.3.2. ESTUDIO DEL TUMOR	134
3.1.3.3. CARACTERÍSTICAS DEL TUMOR	135
3.1.3.4. TRATAMIENTO PREOPERATORIO	136
3.1.3.5. ESTADO BASAL PREOPERATORIO DEL PACIENTE	136
3.1.3.6. CLÍNICA PREOPERATORIA	139
3.1.3.7. PREPARACIÓN PREOPERATORIA	141
3.1.3.8. SACRECTOMÍA	141
3.1.3.9. PÉRDIDA DE SANGRE INTRAOPERATORIA Y POSOPERATORIA	144
3.1.3.10. RECONSTRUCCIÓN ESPINOPÉLVICA	144
3.1.3.11. ANÁLISIS HISTOLÓGICO DEL TUMOR TRAS LA RESECCIÓN	145
3.1.3.12. ESTANCIAS	145
3.1.3.13. SEGUIMIENTO	145
3.1.4. RECOGIDA DE INFORMACIÓN	147
3.1.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	147
<b>3.2. ESTUDIO BIOMECÁNICO EXPERIMENTAL</b>	<b>148</b>
3.2.1. DISEÑO DE LA PIEZA SUSTITIVA DEL SACRO	148
3.2.1.1. OBJETIVO	148
3.2.1.2. DISEÑO CONCEPTUAL	148
3.2.1.3. PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE LA PIEZA	149
3.2.1.4. PROCESO DE FABRICACIÓN ADITIVA DE LA PIEZA	153
3.2.1.5. ACABADO DE LA PIEZA SUSTITUTIVA	153
3.2.1.6. TÉCNICA DE FABRICACIÓN ADITIVA	154
3.2.2. ESTUDIO CON MODELO DE ELEMENTOS FINITOS	156
3.2.2.1. RECONSTRUCCIÓN TRIDIMENSIONAL DE LA COLUMNA Y LA PELVIS	157
3.2.2.2. MODELADO DE ESTRUCTURAS ANATÓMICAS E IMPLANTES	159
3.2.2.3. MODELADO DE LOS SISTEMAS DE RECONSTRUCCIÓN	164
3.2.2.4. APLICACIÓN DE CARGAS	165
3.2.2.5. PARÁMETROS A ANALIZAR	165
3.2.3. ESTUDIO DE FATIGA CON UN MODELO DE POLIAMIDA	166
3.2.3.1. PREPARACIÓN DEL MODELO DE RECONSTRUCCIÓN USANDO POLIAMIDA.	166
3.2.3.2. MÉTODO DE RECONSTRUCCIÓN	167
3.2.3.3. PREPARACIÓN DE LA MÁQUINA PARA APLICAR LA CARGA	169
3.2.3.4. PARÁMETROS MEDIDOS	170
3.2.4. ESTUDIO DE FATIGA CON CADÁVER	170
3.2.4.1. CARACTERÍSTICAS Y PREPARACIÓN DEL CADÁVER	170
3.2.4.2. RECONSTRUCCIÓN DEL MODELO 5	171
3.2.4.3. COLOCACIÓN EN MÁQUINA	171

3.2.4.4. <i>CONDICIONES DEL ENSAYO</i>	172
3.2.4.5. <i>PARÁMETROS A MEDIR</i>	172
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>175</b>
<b>4.1. ESTUDIO CLÍNICO</b>	<b>175</b>
4.1.1. <i>DATOS DEMOGRÁFICOS DE LA MUESTRA</i>	175
4.1.2. <i>HISTOTIPO Y ESTADIAJE DEL TUMOR</i>	175
4.1.3. <i>ESTUDIO PREOPERATORIO DEL TUMOR</i>	175
4.1.3.1. <i>PRUEBAS DE IMAGEN</i>	175
4.1.3.2. <i>DIÁMETRO MAYOR DEL TUMOR MEDIDO EN RM</i>	175
4.1.3.3. <i>BIOPSIA PREOPERATORIA</i>	175
4.1.4. <i>TOPOGRAFÍA DEL TUMOR SEGÚN PRUEBAS DE IMAGEN</i>	176
4.1.4.1. <i>AFECTACIÓN ÓSEA</i>	176
4.1.4.2. <i>AFECTACIÓN DE TEJIDOS BLANDOS</i>	176
4.1.4.3. <i>TAMAÑO DEL TUMOR</i>	177
4.1.4.4. <i>ESTADO PREOPERATORIO DEL PACIENTE</i>	177
4.1.5. <i>TRATAMIENTO PREOPERATORIO DEL TUMOR</i>	177
4.1.6. <i>CIRUGÍA</i>	178
4.1.6.1. <i>NÚMERO DE TIEMPOS Y DURACIÓN DE LA CIRUGÍA</i>	178
4.1.6.2. <i>VÍA DE ABORDAJE E INCISIONES</i>	178
4.1.6.3. <i>CLASIFICACIÓN QUIRÚRGICA DE LAS RESECCIONES SACRAS</i>	179
4.1.6.4. <i>NIVELES DE RESECCIÓN ÓSEA</i>	179
4.1.6.5. <i>RESECCIÓN TEJIDOS BLANDOS</i>	179
4.1.6.6. <i>AMPUTACIÓN DE RAÍCES LUMBARES Y SACRAS</i>	180
4.1.7. <i>CIERRE</i>	180
4.1.8. <i>COLOSTOMÍA</i>	180
4.1.8.1. <i>TIPO DE COLOSTOMÍA</i>	180
4.1.8.2. <i>RELACIÓN DE LA COLOSTOMÍA CON OTROS FACTORES</i>	180
4.1.9. <i>DURACIÓN DE LA CIRUGÍA</i>	181
4.1.10. <i>RECONSTRUCCIÓN INSTRUMENTADA DE UNIÓN LUMBOPÉLVICA</i>	181
4.1.11. <i>TRATAMIENTO ADYUVANTE</i>	185
4.1.12. <i>COMPLICACIONES INTRAOPERATORIAS</i>	185
4.1.13. <i>RESULTADOS QUIRÚRGICOS POSOPERATORIOS</i>	185
4.1.13.1. <i>COMPLICACIONES POSOPERATORIAS</i>	185
4.1.13.2. <i>PÉRDIDA DE SANGRE</i>	188
4.1.13.3. <i>ESTANCIA HOSPITALARIA Y EN UCI O SEMICRÍTICOS</i>	189
4.1.14. <i>RESULTADOS DE LA CIRUGÍA SOBRE EL DOLOR</i>	190
4.1.14.1. <i>ESCALA EVA</i>	190
4.1.14.2. <i>TIPO DE DOLOR</i>	191
4.1.15. <i>RESULTADOS FUNCIONALES</i>	192
4.1.15.1. <i>FUNCIÓN MOTORA</i>	192
4.1.15.2. <i>FUNCIÓN VESICAL</i>	194
4.1.15.3. <i>FUNCIONAL INTESTINAL</i>	196
4.1.15.4. <i>EVOLUCIÓN FUNCIÓN MOTORA, INTESTINAL Y VESICAL</i>	198
4.1.15.5. <i>FUNCIÓN SEXUAL</i>	198
4.1.15.6. <i>SENSIBILIDAD</i>	198

4.1.16. RESULTADOS ONCOLÓGICOS	198
4.1.16.1. RECURRENCIA Y METÁSTASIS	198
4.1.16.2. MÁRGENES QUIRÚRGICOS	200
<b>4.2. ESTUDIO BIOMECÁNICO EXPERIMENTAL</b>	<b>204</b>
4.2.1. ESTUDIO CON MODELO DE ELEMENTO FINITOS	204
4.2.1.1. DESPLAZAMIENTO VERTICAL	204
4.2.1.2. TENSIÓN EN IMPLANTES	205
4.2.1.3. RIGIDEZ	209
4.2.1.4. INCIDENCIA PÉLVICA	210
4.2.2. ESTUDIO DE FATIGA CON MODELO DE POLIAMIDA	210
4.2.3. ESTUDIO DE FATIGA CON CADÁVER	210
<b>5. DISCUSIÓN</b>	<b>215</b>
<b>5.1. ESTUDIO CLÍNICO</b>	<b>215</b>
5.1.1. RESULTADOS QUIRÚRGICOS: COMPLICACIONES	215
5.1.1.1. TASA Y TIPO DE COMPLICACIONES	215
5.1.1.2. COMPLICACIONES MENORES	215
5.1.1.3. COMPLICACIONES MAYORES	215
5.1.1.4. REINTERVENCIONES	216
5.1.1.5. SANGRADO INTRAOPERATORIO	216
5.1.2. RESULTADOS SOBRE EL DOLOR	216
5.1.3. RESULTADOS FUNCIONALES	217
5.1.3.1. FUNCIÓN MOTORA	217
5.1.3.2. FUNCIÓN VESICAL E INTESTINAL	218
5.1.3.3. FUNCIÓN SEXUAL	220
5.1.3.4. SENSIBILIDAD	220
5.1.4. RESULTADOS ONCOLÓGICOS	220
5.1.4.1. RECURRENCIA Y METÁSTASIS	220
5.1.4.2. SUPERVIVENCIA	224
5.1.5. LIMITACIONES DEL ESTUDIO CLÍNICO	229
<b>5.2. ESTUDIO BIOMECÁNICO</b>	<b>230</b>
5.2.1. ESTABILIDAD LUMBOPÉLVICA	230
5.2.2. TENSIONES TRAS SACRECTOMÍA	230
5.2.3. RIGIDEZ	231
5.2.4. INCIDENCIA PÉLVICA	233
5.2.5. PIEZA SUSTITUTIVA SACRA	233
5.2.6. LIMITACIONES DEL ESTUDIO BIOMECÁNICO EXPERIMENTAL	234
5.2.6.1. ESTUDIO DE ELEMENTOS FINITOS	234
5.2.6.2. ESTUDIO DE FATIGA CON MODELO DE POLIAMIDA	234
5.2.6.3. ESTUDIO DE FATIGA CON CADÁVER	234
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>237</b>
<b>6.1. ESTUDIO CLÍNICO</b>	<b>237</b>
<b>6.2. ESTUDIO BIOMECÁNICO EXPERIMENTAL</b>	<b>238</b>
<b>7. ANEXOS</b>	<b>241</b>
7.1. ANEXO I: Documento de aprobación del estudio por el Comité Ético de Investigación Clínica	241
7.2. ANEXO II: Hoja de recogida de datos	242
7.3. ANEXO III: Descripción de los casos del estudio clínico	256
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>259</b>

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Imagen de RM de tumor de cordoma sacro. (A) Visión sagital. (B) Visión coronal</i>	32
<i>Ilustración 2. Imagen de RM de un tumor de células gigantes. (A) Visión sagital. (B) Visión coronal</i>	34
<i>Ilustración 3. Cintura pélvica. Tomado de Drake et al. (154)</i>	44
<i>Ilustración 4. Visión anterior (A), posterior (B) y lateral (C) del sacro. Tomado de Cramer et al. (155)</i>	46
<i>Ilustración 5. Hueso coxal. Tomado de Drake et al. (154)</i>	47
<i>Ilustración 6. Articulación lumbosacra. Visión lateral (A). Visión anterior (B). Tomado de Drake et al. (154)</i>	48
<i>Ilustración 7. Visión posterior de una articulación sacroilíaca abierta. Tomada de Cramer et al. (155)</i>	50
<i>Ilustración 8. Ligamentos de la articulación sacroilíaca. (A) Vía anterior. (B) Vía posterior. (C) Sección horizontal de la articulación sacroilíaca. Tomada de Cramer et al. (155)</i>	52
<i>Ilustración 9. Imágenes de los ligamentos sacrotuberosos y sacroespinosos. (A) Visión posterior. (B) Visión sagital.</i>	53
<i>Ilustración 10. Músculos anteriores de la pared abdominal. Tomado de Drake et al (154)</i>	55
<i>Ilustración 11. Músculos de pared abdominal posterior y laterovertebrales. Tomado de Drake et al. (154)</i>	56
<i>Ilustración 12. Visión posterior musculatura pélvica. Tomado de Drake et al. (154)</i>	58
<i>Ilustración 13. Foramen ciático mayor y menor. Tomado de Drake et al. (154)</i>	59
<i>Ilustración 14. Contenido del foramen ciático mayor, menor y canal obturador. Tomado de Drake et al. (154)</i>	60
<i>Ilustración 15. Relaciones del foramen ciático mayor, menor, canal obturador y orificio entre el ligamento inguinal y pelvis. Tomado de Drake et al. (154)</i>	60
<i>Ilustración 16. Suelo pélvico en mujer. Tomado de Drake et al. (154)</i>	62
<i>Ilustración 17. Diafragma urogenital en mujer. Tomado de Drake et al. (154)</i>	63
<i>Ilustración 18. Diafragma urogenital en hombre. Tomado de Drake et al. (154)</i>	64
<i>Ilustración 19. Órganos pélvicos femeninos (A) y masculinos (B). Tomado de Drake et al. (154)</i>	66
<i>Ilustración 20. Límites del espacio retrorectal. Tomado de Aranda-Narváez et al. (168)</i>	66
<i>Ilustración 21. Bifurcación de la arteria aorta abdominal. Tomado de Drake et al. (154)</i>	67
<i>Ilustración 22. Ramas extraparietales de la arteria ilíaca interna. Tomado de Drake et al. (154)</i>	69
<i>Ilustración 23. Sistema arterial y venoso en pelvis. Tomado de Drake et al. (154)</i>	70
<i>Ilustración 24. Plexo lumbar y sacro. Tomado de Drake et al. (154)</i>	72
<i>Ilustración 25. Plexo lumbar, sacro y coccígeo</i>	73
<i>Ilustración 27. Nervio pudendo. Tomado de Drake et al. (154)</i>	74
<i>Ilustración 26. Tronco lumbosacro. Tomado de Drake et al. (154)</i>	74
<i>Ilustración 28. Tronco simpático de la pelvis. Tomado de Drake et al. (154)</i>	75
<i>Ilustración 29. Nervios esplácnicos de los niveles S2 a S4 que controlan la erección. Tomado de Drake et al. (154)</i>	76
<i>Ilustración 30. Distribución de cargas en el anillo pélvico en bipedestación. Tomado de Kapandji et al. (172)</i>	77
<i>Ilustración 31. Fuerzas de compresión en anillo pélvico. Tomado de Kapandji et al. (172)</i>	78
<i>Ilustración 32. Movimiento de nutación (a) y (b) y contranutación (c). Tomado de Kapandji (172)</i>	79
<i>Ilustración 33. Rotación anterior y posterior. Tomado de Schamberger et al. (178)</i>	80
<i>Ilustración 34. Torsión pélvica. Tomado de Schamberger et al. (178)</i>	81
<i>Ilustración 35. Eje de rotación de la articulación sacroilíaca. Tomado de Zhang et al. (180)</i>	82
<i>Ilustración 36. Cierre de forma (A), fuerza de cierre (B) y mecanismo de autobloqueo (C). Tomado de Snijders et al. (185)</i>	83
<i>Ilustración 37. A. El ligamento sacrotuberoso limita la nutación. B. El ligamento sacroilíaco dorsal largo limita la contranutación. Tomado de Vleeming et al. (165)</i>	84
<i>Ilustración 38. A. El sistema oblicuo posterior de la unidad externa. B. El sistema oblicuo anterior de la unidad externa. Basado en el póster: "Biomechanical model on the etiology of "Lower back pain". Snijders CJ, Vleeming A, Stoeckart R, Starn A.J. Second World Congress on Biomechanics, Amsterdam 1994.</i>	85
<i>Ilustración 40. Musculatura anterior y posterior superficial. A. Músculos y ligamentos involucrados en la inclinación posterior. B. Músculos y ligamentos involucrados en la inclinación anterior. Tomado de <a href="http://clinicalgate.com/pelvis-3/#BIB5">http://clinicalgate.com/pelvis-3/#BIB5</a></i>	86
<i>Ilustración 42. A. Cadera en extensión. B. Cadera en flexión. Tomado de Kapandji et al. (172)</i>	89
<i>Ilustración 43. Clasificación quirúrgica sacra de Fourney et al. (82). Tomado de Fourney et al. (82)</i>	94

<i>Ilustración 44. Diagrama que ilustra el factor independiente D. Tomado de Zhang et al. (202)</i>	95
<i>Ilustración 46. Clasificación quirúrgica de Li et al. (199) (a) Tipo I, (b) tipo II, (c) tipo III, (d) tipo IV y (e) tipo V.</i>	98
<i>Ilustración 47. Algoritmo de la reconstrucción de tejidos blandos para la resección de tumores sacropélvicos. De acuerdo con Miles et al. (215)</i>	110
<i>Ilustración 48. Técnicas de FEP. (a) Técnica de Galveston (GT); (b) Técnica de Galveston modificada (mGT) con tornillo ilíaco simple bilateral; (c) Técnica Galveston modificada (mGT) con doble tornillo ilíaco paralelo; (d) Técnica Galveston modificada (mGT) con doble tornillo ilíaco divergente; (e) Técnica con 4 barras (FRR); (f) Técnica CLT. Tomado de Varga et al. (256)</i>	114
<i>Ilustración 49. Métodos de FPAP (a) Técnica de marco de reconstrucción triangular (TFR); (b) Técnica de los autores Hospital Johns Hopkins (JHH). Tomado de Varga et al. (256)</i>	116
<i>Ilustración 51. Estructura ICR. Tomado de Cheng et al. (269)</i>	118
<i>Ilustración 53. Prótesis a medida (274)</i>	119
<i>Ilustración 54. Diseño conceptual de la pieza sustitutiva de sacro</i>	148
<i>Ilustración 55. Resumen del proceso de diseño y fabricación de la pieza sustitutiva del sacro</i>	149
<i>Ilustración 56. Pelvis, columna y sacro reconstruidos antes de la sacrectomía</i>	149
<i>Ilustración 57. Superficie base para el diseño de la pieza sustitutiva del sacro</i>	150
<i>Ilustración 58. Detalle de la pieza (gris= zona de titanio macizo, verde= zona de titanio poroso)</i>	150
<i>Ilustración 59. Detalle de los orificios de taladros y la zona plana en la pieza sustitutiva de sacro</i>	151
<i>Ilustración 60. Diseño final de la pieza sustitutiva del sacro</i>	151
<i>Ilustración 61. Generación de ficheros para la fabricación de la pieza sustitutiva del sacro (zona sólida y porosa)</i>	152
<i>Ilustración 62. Diseño de soportes de la pieza sustitutiva del sacro</i>	152
<i>Ilustración 63. Diseño de la pieza sustitutiva de sacro con los soportes.</i>	153
<i>Ilustración 64. Pieza sustitutiva de sacro sin soportes</i>	154
<i>Ilustración 65. Sistema EBM. Tomado de Sing et al. (338)</i>	154
<i>Ilustración 66. Modelos MEF de reconstrucción espinopélvica</i>	157
<i>Ilustración 67. Radiografía simple ánteroposterior y lateral de la reconstrucción espinopélvica en el caso 4 con el Modelo 2</i>	157
<i>Ilustración 68. Radiografía simple ánteroposterior y lateral de la reconstrucción espinopélvica en el caso 4 con la rotura de barras de la primera reconstrucción (Modelo 2)</i>	158
<i>Ilustración 69. Radiografía simple ánteroposterior y lateral de la reconstrucción espinopélvica en el caso 4 tras la reparación del fallo del instrumental con el Modelo 4</i>	158
<i>Ilustración 70. Vértebra del modelo según MEF con sus diferentes zonas</i>	159
<i>Ilustración 71. Disco intervertebral. (A) Corte sagital. (B) Corte axial</i>	160
<i>Ilustración 72 Dimensiones del disco intervertebral</i>	161
<i>Ilustración 73. Montaje definitivo</i>	163
<i>Ilustración 74. Áreas de contacto de la pieza sustitutiva del sacro</i>	165
<i>Ilustración 75. Incidencia pélvica (PI) e incidencia pélvica modificada (mIP). Tomada de Gottfried et al. (369)</i>	166
<i>Ilustración 76. Modelo de poliamida</i>	166
<i>Ilustración 77. Montaje del Modelo 5, según MEF, en el modelo de poliamida. Numeración documentada en Tabla 16</i>	168
<i>Ilustración 78. Detalle de la placa posterior</i>	168
<i>Ilustración 79. Trayectoria de los tornillos a la pelvis (en rojo) y al cuerpo vertebral de L5 (verde) en visión anterior (A) y lateral (B)</i>	169
<i>Ilustración 80. Visión anterior (A) y posterior (B) del montaje del Modelo 5 de poliamida</i>	169
<i>Ilustración 81. Montaje en la máquina del modelo de poliamida</i>	170
<i>Ilustración 82. Imágenes de la disección del cadáver y del montaje</i>	171
<i>Ilustración 83. Aplicación de carga sobre cadáver</i>	172
<i>Ilustración 84. Imágenes de las reconstrucciones de los casos 8, 10, 11 y 12</i>	185
<i>Ilustración 85. Evolución de los valores de EVA</i>	190
<i>Ilustración 86. Evolución de la función motora</i>	192
<i>Ilustración 87. Evolución de la función vesical</i>	194
<i>Ilustración 88. Evolución de la función intestinal</i>	196

<i>Ilustración 89. Evolución de la función motora, vesical e intestinal</i>	198
<i>Ilustración 90. Gráfico de barras que muestra el desplazamiento vertical en L3, L4 y L5 (en valores absolutos, medidos en mm) de los diferentes modelos</i>	204
<i>Ilustración 91. Tensión de Von Misses (MPa) en el Modelo 1</i>	205
<i>Ilustración 92. Tensión de Von Misses (MPa) en el Modelo 2</i>	206
<i>Ilustración 93. Tensión de Von Misses (MPa) en el Modelo 3</i>	207
<i>Ilustración 94. Tensión de Von Misses (MPa) en el Modelo 4</i>	207
<i>Ilustración 95. Tensión de Von Misses (MPa) en el Modelo 5</i>	208
<i>Ilustración 96. Tensión de Von Misses (MPa) en el Modelo 6</i>	209
<i>Ilustración 97. Radiografía simple del Modelo 5 tras su implantación en cadáver antes del ensayo de fatiga. (A) Visión antero-posterior. (B) Visión perfil</i>	210
<i>Ilustración 98. Imágenes de TC del Modelo 5 tras su implantación en cadáver antes del ensayo de fatiga. (A) Plano coronal. (B) Plano sagital</i>	211
<i>Ilustración 99. Radiografía simple del Modelo 5 tras el ensayo de fatiga. (A) Plano coronal. (B) Plano sagital</i>	211
<i>Ilustración 100. Imágenes de TC del Modelo 5 tras el ensayo de fatiga. (A) Plano coronal. (B) Plano sagital</i>	212

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales músculos del abdomen y de la columna vertebral	54
Tabla 2. Principales músculos de la pelvis	57
Tabla 3. Clasificación de las resecciones en bloque sacras según Fourny et al. (82). Tomado de Fourny et al. (82)	95
Tabla 4. Clasificación quirúrgica sacra de Zhang et al. (202)	96
Tabla 5. Sistema de estadiaje quirúrgico modificado de Enneking (3)	136
Tabla 6. Índice ASA	137
Tabla 7. Índice de Karnofsky (334).	137
Tabla 8. Índice de Comorbilidad de Charlson (335).	138
Tabla 9. Función motora según la escala de Biagini et al. modificada (313)	140
Tabla 10. Función vesical según la escala de Biagini et al. modificada (313).	140
Tabla 11. Función intestinal según la escala de Biagini et al. modificada (313)	140
Tabla 12. Características de los materiales empleados para modelar un cuerpo vertebral (351)	160
Tabla 13. Dimensiones del núcleo pulposo del disco intervertebral	161
Tabla 14. Medidas de las vértebras y coordenadas	161
Tabla 15. Características de los ligamentos para la unidad vertebral funcional L3-L4 (361).	162
Tabla 16. Propiedades de los elementos de fijación (diámetro y material de tornillos y barras)	163
Tabla 17. Propiedades del material de CoCr, Titanio ( <a href="http://www.3trpd.co.uk">www.3trpd.co.uk</a> ) y el titanio poroso (medido por IBV)	163
Tabla 18. Lista de instrumental empleado	167
Tabla 19. Pruebas de imagen	175
Tabla 20. Distribución detallada del tumor a nivel óseo	176
Tabla 21. Patrones de distribución ósea del tumor	176
Tabla 22. Afectación de los tejidos blandos	177
Tabla 23. Índice de Comorbilidad de Charlson, índice de Karnofsky y clasificación ASA	177
Tabla 24. Casos sometidos a cirugía previa	178
Tabla 25. Límite superior de osteotomía según vía de abordaje	178
Tabla 26. Tipo de resecciones según las clasificaciones quirúrgicas sacras	179
Tabla 27. Límite superior de las osteotomías sacras	179
Tabla 28. Tejidos blandos resecaados	179
Tabla 29. Raíces amputadas	180
Tabla 30. Relación entre la realización de la colostomía temporal y el nivel de las raíces salvadas, el límite superior de la osteotomía y las clasificaciones quirúrgicas sacras	181
Tabla 31. Descripción de los pacientes sometidos a reconstrucción espinopélvica	182
Tabla 32. Descripción de la reconstrucción espinopélvica realizada en cada caso	182
Tabla 33. Descripción del fallo de reconstrucción espinopélvica y su resolución	183
Tabla 34. Complicaciones intraoperatorias	185
Tabla 35. Complicaciones durante el primer mes posoperatorio	186
Tabla 36. Complicaciones entre el primer y el sexto mes posoperatorio	187
Tabla 37. Complicaciones entre el sexto mes y el año posoperatorio	187
Tabla 38. Complicaciones durante el primer y el segundo año posoperatorio	188
Tabla 39. Análisis univariante de los factores que influyen en el sangrado intraoperatorio excesivo ( $\geq 2900$ cc)	189
Tabla 40. Análisis univariante de factores que influyeron en el tiempo de estancia en Semicríticos/UCI y estancia hospitalaria total	189
Tabla 41. Valores de la escala EVA durante el preoperatorio y el seguimiento	190
Tabla 42. Comparación de las medianas de los valores de EVA durante la evolución	191
Tabla 43. Relación de los valores del EVA y nivel de la sacrectomía y la presencia de reconstrucción espinopélvica durante el seguimiento	191
Tabla 44. Tipo de dolor durante el seguimiento	191
Tabla 45. Función motora durante el seguimiento	192
Tabla 46. Análisis de la evolución de la función motora	193
Tabla 47. Relación entre nivel superior de raíces salvadas y la función motora al año	193

<i>Tabla 48. Función vesical durante el seguimiento</i>	194
<i>Tabla 49. Análisis de la evolución de la función vesical</i>	195
<i>Tabla 50. Relación entre nivel superior de raíces salvadas y la función vesical al año</i>	195
<i>Tabla 51. Función intestinal durante el seguimiento</i>	196
<i>Tabla 52. Análisis de la evolución de la función intestinal</i>	197
<i>Tabla 53. Relación entre nivel superior de raíces salvadas y la función intestinal al año</i>	197
<i>Tabla 54. Análisis univariante de los factores que influyen en la recurrencia y metástasis del tumor</i>	199
<i>Tabla 55. Análisis univariante de factores que condicionan los márgenes quirúrgicos</i>	200
<i>Tabla 56. Resultados oncológicos según los márgenes quirúrgicos en el total de la muestra</i>	201
<i>Tabla 57. Resultados oncológicos según los márgenes quirúrgicos en el grupo de cordomas</i>	201
<i>Tabla 58. Tasas de SG en toda la muestra y en el grupo cordoma</i>	201
<i>Tabla 59. Tasas de SLE en toda la muestra y en el grupo cordoma</i>	202
<i>Tabla 60. Tasas de SLM en toda la muestra y en el grupo cordoma</i>	202
<i>Tabla 61. Análisis univariante de factores pronóstico de SG, SLE y SLM en el grupo cordoma</i>	203
<i>Tabla 62. Desplazamiento vertical de los diferentes modelos</i>	204
<i>Tabla 63. Tensión de Von Misses máxima en los implantes en los diferentes modelos</i>	205
<i>Tabla 64. Valores de rigidez de los diferentes modelos</i>	209
<i>Tabla 65. Incidencia pélvica modificada en las reconstrucciones</i>	210
<i>Tabla 66. Resultados del presente estudio comparados con otros estudios que poseen mayor número de pacientes recogidos sometidos a resección sacra en bloque por cordoma. Se excluyeron aquellos que presentaban afectación de columna móvil</i>	225
<i>Tabla 67. Revisión bibliográfica de los factores pronóstico para la SG y SLE, incluyendo los resultados del presente estudio</i>	228
<i>Tabla 68. Revisión bibliográfica de los estudios MEF de reconstrucciones espinopélvicas tras sacrectomías totales y resultados del presente estudio</i>	232
<i>Tabla 69. Descripción de los casos que conforman la muestra del estudio clínico</i>	256

## ABREVIATURAS

ASA	American Society of Anesthesiologists
BFFR	Reconstrucción con injertos de peroné bilateral (Bilateral Fibular Flap Reconstruction)
CAD	Diseño asistido por computadora (Computer Aided Design)
CLT	Técnica del bucle cerrado (Closed Loop Technique)
DMO	Densidad Mineral Ósea
E	Módulo de Young
E1	Módulo elástico
EBM	Proceso de fusión por haz de electrones (Electron Beam Melting)
EGRF	Factor de crecimiento epidérmico
EMA	Antígeno epitelial de membrana
ET	Módulo elástico de ligamento
EVA	Escala visual analógica
FEP	Fijación espinopélvica
FPAP	Fijación posterior del anillo pélvico
FRR	Técnica con cuatro barras (Four-rod Reconstruction)
G	Módulo a cortantes
GFAP	Proteína gliofibrilar ácida
GT	Técnica original de Galveston
HBME-1	Hector Battifora mesothelial cell 1
HC	Hemicorporectomía
IBV	Instituto de Biomecánica de Valencia
ICR	Reconstrucción de compuestos mejorada (Improved compound reconstruction)
JHH	Técnica de dobles barras transilíacas, Johns Hopkins Hospital
LA	Ligamento amarillo
LC	Ligamento capsular
LD	Latissimus dorsi
LDH	Lactato deshidrogenasa sérica
LI	Ligamento interespinoso
LS	Ligamento supraespinoso
LSI	Lumbo-sacro-ilíacos
LT	Ligamento transverso
LLA	Ligamento longitudinal anterior
LLP	Ligamento longitudinal posterior
mBFFR	Reconstrucción con injertos de peroné bilateral modificada (modified Bilateral Fibular Flap Reconstruction)
MBS	Muslo bilateral subtotal
MEF	Método de Elementos Finitos
mGT	Técnica de Galveston modificada
mPI	Incidencia pélvica modificada (modified Pelvic Incidence)
N/A	No aplicable
NCCN	National Comprehensive Cancer Network
NP	No publicado
PA	Poliamida

PAAF	Punción aspiración con aguja fina
PET	Tomografía por emisión de positrones
PI	Incidencia pélvica (Pelvic Incidence)
PMMA	Polimetilmetacrilato
Preop	Preoperatorio
RO	Márgenes negativos
R1	Afectación microscópica pero no enfermedad macroscópica
R2	Afectación macroscópica
RANKL	Receptor activador del factor nuclear kappa-B
RIC	Rango intercuartil
RM	Resonancia magnética
RM	Radio mayor
Rm	Radio menor
RT	Radioterapia
SACV	Soporte anterior de la columna vertebral
SRR	Reconstrucción con barra sacra (Sacral Rod Reconstruction)
STAT3	Activador de la transcripción 3
TC	Tomografía computerizada
TCMH	Trasplante de células madre hematopoyéticas
TFR	Reconstrucción con marco triangular (Triangular Frame Reconstruction)
UCI	Unidad de Cuidados Intensivos
UICC	Union for International Cancer Control
VAC	Vacuum Assisted Closure
VRAM	Miocutáneo de recto abdominal vertical (Vertical rectus abdominis musculocutaneous)
VSG	Velocidad de sedimentación globular
$\epsilon l$	Deformación
$\gamma$	Coefficiente de Poisson





# **INTRODUCCIÓN**



# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. TUMORES SACROS

### 1.1.1. GENERALIDADES

Los tumores primarios de sacro representan 1%-7% de los tumores primarios de la columna vertebral (1).

En cuanto a los de origen óseo, en el sacro los benignos más frecuentes en adultos son los tumores de células gigantes (60%), quistes óseos aneurismáticos (4%), osteoblastomas y schwannomas. De los malignos, los más frecuentes son el cordoma (50%), mieloma múltiple (9%), linfoma (5%), sarcoma de Ewing en niños (8%), condrosarcoma en adultos, y osteosarcoma (2).

Algunos tumores afectan al sacro por compresión erosiva o invasión del hueso p. ej. neurofibroma, schwannoma, ependimoma, tumores desmoides y epidermoides, y teratomas.

A continuación, se describen los principales tumores sacros.

### 1.1.2. TUMORES ÓSEOS PRIMARIOS

La descripción de los tumores óseos se ha realizado según la clasificación actualizada de la OMS de 2013 por Rosenberg. Están ordenados por orden de frecuencia.

#### 1.1.2.1. CORDOMA

##### 1.1.2.1.1. EPIDEMIOLOGÍA

Es un tumor maligno, de crecimiento lento, localmente invasivo, y con poca tendencia metastatizar, según la clasificación de la OMS de 2013 actualizada por Rosenberg. Según el estadiaje quirúrgico modificado de Enneking (3) es considerado un tumor maligno de bajo grado.

Es el tumor primario maligno más frecuente en la columna adulta, excluyendo los linfoproliferativos (4), y el más frecuente en sacro. Se origina en los restos notocordales del sacro (50%), base de cráneo (30%) y columna móvil (20%) (4).

Es el doble de frecuente en hombres y se presentan mayormente en la raza caucásica y con una media de edad de 59 años (5).

Debido a su escasa e inespecífica sintomatología se diagnostican de forma tardía presentando grandes volúmenes con desplazamiento de vísceras en muchos casos.

##### 1.1.2.1.2. PRUEBAS DE IMAGEN

En radiografía simple, la mayoría aparecen como lesiones líticas, expansivas, rarefactas y con bordes escleróticos. En TC se presenta como una lesión lítica asociada a una gran masa de partes blandas heterogénea (6), (7).

En RM muestra un aspecto lobulado de intensidad baja o intermedia en T1 y una señal heterogénea hiperintensa en T2 (Ilustración 1). Presenta un realce heterogéneo con contraste en T1 y en T2 (6), (7), (8).



Ilustración 1. Imagen de RM de tumor de cordoma sacro. (A) Visión sagital. (B) Visión coronal.

#### 1.1.2.1.3. ANATOMÍA PATOLÓGICA

Macroscópicamente, son masas friables lobuladas, brillantes, de color blanco grisáceo a marrón claro, parcialmente transparentes. A menudo, presentan una pseudocápsula (9), (10).

Microscópicamente, presentan un patrón lobular separados por tabiques fibrovasculares. Está formado por células fisalíferas, epiteloides, en anillo de sello o fusiformes con disposición en cordones o en grupos de dimensiones variables (11).

Sus células son positivas para las proteínas S-100, antígeno epitelial de membrana (EMA), Hector Battifora mesothelial cell 1 (HBME-1), panqueratinas y citoqueratinas de bajo peso molecular (11). La sobreexpresión del gen p53 se ha asociado a un mal pronóstico (12). Asimismo, el anticuerpo monoclonal MIB1 se ha asociado con un mayor pleomorfismo nuclear y mayor riesgo de recurrencias y metástasis (> 30%) (13), (14). La braquiuria es un marcador diagnóstico del cordoma y es útil para su distinción de otras entidades similares o patrones de distintos inmunofenotipos (15).

Según la OMS se clasifica en los siguientes tipos: 1) cordoma convencional o clásico (ICD-O code 9370/3) (el más frecuente); 2) cordoma condroide (ICD-O code 9371/3); 3) cordoma desdiferenciado (ICD-O code 9372/3) (11).

El diagnóstico diferencial histológico se debe plantear con una metástasis de un adenocarcinoma mucosecretor o con un tumor de estirpe condral, especialmente con el condrosarcoma (16).

#### 1.1.2.1.4. TRATAMIENTO

El tratamiento de elección es la resección en bloque con márgenes amplios libres de tumor. No responden a radioterapia ni a quimioterapia (17). Actualmente, con los avances tecnológicos y el descubrimiento de nuevas dianas terapéuticas, está aumentando el papel de los tratamientos coadyuvantes (17).

#### 1.1.2.1.4.1. CIRUGÍA

La resección en bloque incluyendo el tracto de la biopsia es el tratamiento de elección (17). La obtención de márgenes libres de tumor es el factor más importante que condicionará los resultados a largo plazo (17). La cirugía intralesional y la radioterapia no son una alternativa a la resección en bloque si esta es posible (17). La cirugía subtotal y/o intralesional aumenta el riesgo de recidiva local, metástasis y muerte por progresión de la enfermedad (18), (19).

#### 1.1.2.1.4.2. QUIMIOTERAPIA

La quimioterapia no es efectiva en el tratamiento del cordoma. Su objetivo es lograr el control sistémico del tumor. Actualmente, el fármaco más efectivo es el imatinib (inhibidor de la tirosina quinasa) que en una cohorte de pacientes con cordoma avanzado demostró una tasa de respuesta del 64%, una estabilización del crecimiento del tumor del 84% y una reducción de su tamaño del 16% (20). Asimismo, una combinación de bevacizumab (un agente antiangiogénico) y erlotinib (un inhibidor del receptor del factor de crecimiento epidérmico [EGFR]) ha demostrado controlar el crecimiento del tumor (21). Otras dianas terapéuticas son el activador de la transcripción 3 (STAT3) (22), el gen de braquiuria (6q27) (23) y la survivina (24).

#### 1.1.2.1.4.3. RADIOTERAPIA

La radioterapia como tratamiento único no es efectiva para el cordoma. Se emplea en casos de resección incompleta para lograr el control local del tumor. Sin embargo, recientes avances han empezado a cambiar su valor en estas lesiones (17), (22).

### 1.1.2.2. TUMOR DE CÉLULAS GIGANTES

#### 1.1.2.2.1. EPIDEMIOLOGÍA

Constituye el 13% de los tumores sacros, el segundo más frecuente en esa localización después del cordoma (25), (26), (27), (28), (29). Es ligeramente más frecuente en mujeres, con un pico de incidencia entre los 20 y los 40 años (28), (29), (30), (31).

Presenta una malignidad intermedia, es localmente agresivo y raramente metastatizante. El 2% puede sufrir una transformación maligna, más frecuentemente a osteosarcoma, relacionado con su tratamiento con radioterapia (32). Puede metastatizar a los pulmones (3%), generalmente en el contexto de enfermedad local recurrente (33).

#### 1.1.2.2.2. PRUEBAS DE IMAGEN

En la radiografía simple y en la TC, se presenta como una lesión osteolítica, expansible con destrucción de la cortical en patrón de "pompas de jabón", con una matriz calcificada y ausencia de bordes escleróticos (34).

En la RM presenta una imagen de masa hipervasculada con cambios quísticos y heterogéneos por áreas necróticas y hemorrágicas o niveles fluido-fluido (26), (27), (35) (Ilustración 2).

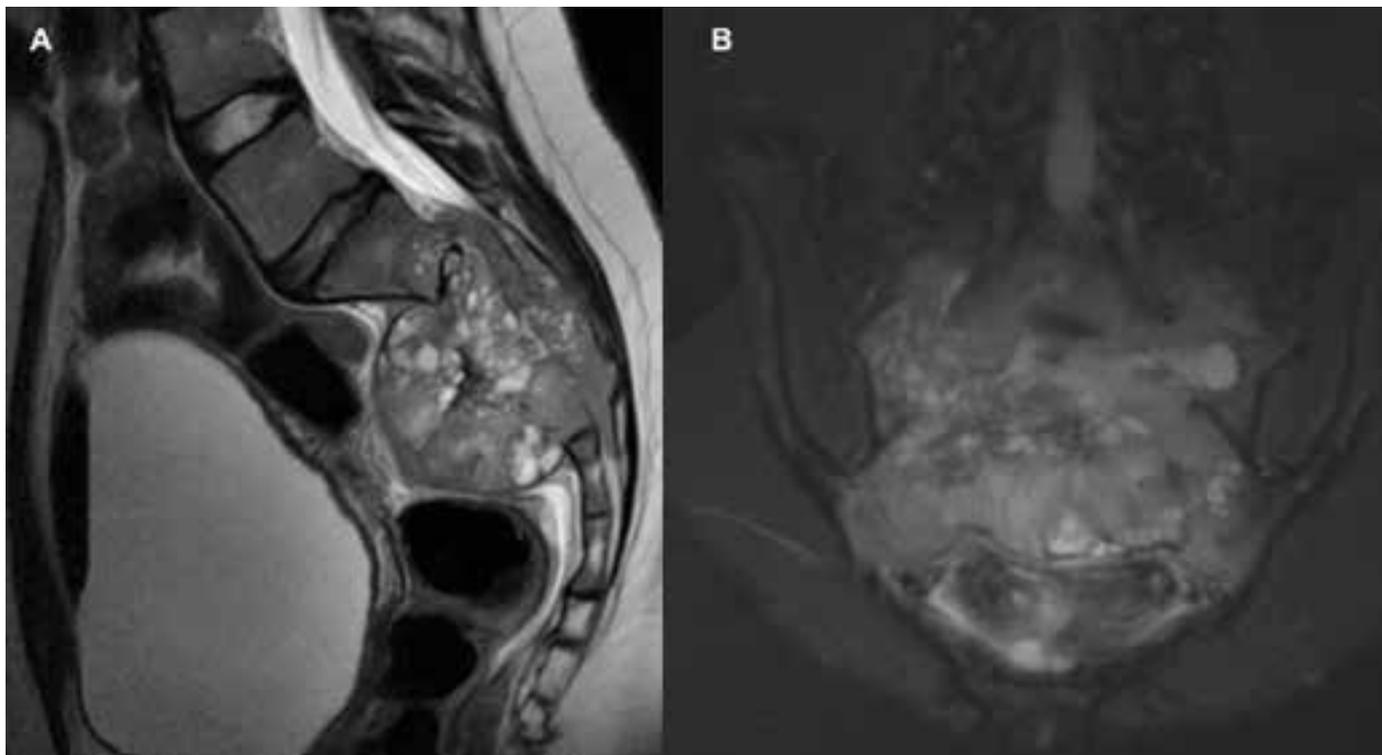


Ilustración 2. Imagen de RM de un tumor de células gigantes. (A) Visión sagital. (B) Visión coronal.

#### 1.1.2.2.3. ANATOMÍA PATOLÓGICA

Está formado por células mononucleares y células gigantes similares a osteoclastos, sin matriz mineralizada y con áreas hemorrágicas (36). También presenta células con características de progenitores de osteoblastos que expresan el ligando del receptor activador del factor nuclear kappa-B (RANKL), responsables del reclutamiento de osteoclastos por los osteoblastos y de su maduración en condiciones fisiológicas normales (37), (38).

Su diagnóstico diferencial incluye el quiste óseo aneurismático, metástasis, osteoblastoma, osteítis fibrosa de hipoparatiroidismo, linfoma, cordoma e histiocitoma fibroso maligno (36).

#### 1.1.2.2.4. TRATAMIENTO

Su tratamiento óptimo no está bien definido. El objetivo más importante es la prevención de la recurrencia (27), (39).

##### 1.1.2.2.4.1. CIRUGÍA

La cirugía es el tratamiento principal en los tumores de células gigantes en la columna vertebral (32), (40). La resección en bloque con márgenes libres de tumor presenta una menor tasa de recurrencia y aumenta la supervivencia libre de enfermedad (SLE) respecto a la intralesional (25), (27), (29), (41), (42), (43). La intralesional supone menor morbilidad, pero mayores tasas de recurrencia local (43%-49%) (39), (44), recomendándose solo en caso seleccionados.

La cirugía radical en el sacro supone un problema funcional grave según su localización. Por ello, existen autores que indican la resección en bloque por debajo o a nivel de S3 (44) y la resección intra y extralesional en lesiones por encima de S3 con la finalidad de mantener la funcionalidad preservando las raíces de S1-S3 (45), complementado con otros tratamientos, asumiendo un mayor riesgo de recurrencia local.

## 1.1.2.2.4.2. TRATAMIENTOS ADYUVANTES

### 1.1.2.2.4.2.1. RADIOTERAPIA

A pesar de ser sensibles a la radioterapia su uso como tratamiento único se ha asociado a altas tasas de recurrencia, 15%-49%, y a complicaciones como fibrosis y progresión a la malignidad con cambios sarcomatosos (46), (47). Por ello, se indica en casos de contraindicación de la cirugía o cuando la obtención de márgenes quirúrgicos libres de tumor implica una importante morbilidad como en tumores que afectan a la línea media del sacro (48).

### 1.1.2.2.4.2.2. EMBOLIZACIÓN ARTERIAL SELECTIVA

En el sacro puede ser utilizada como tratamiento único o adyuvante con bajas tasas de morbilidad. En caso de tumores sacros muy voluminosos no debe ser empleada como tratamiento único, sino de forma preoperatoria (39), (45), pues se asocia a altas tasas de recurrencia a los 10 y 20 años, del 31% y del 43% respectivamente (49), (50).

### 1.1.2.2.4.2.3. TERAPIA SISTÉMICA

#### *Quimioterapia e interferón*

La quimioterapia se ha indicado en tumores muy agresivos. Se ha usado la ifosfamida, ciclofosfamida, doxorubicin o cisplatino en lesiones irresecables (51), (52).

El interferón también se empleó en tumores agresivos, pero se ha asociado a múltiples efectos secundarios. En la guía de la NCCN (National Comprehensive Cancer Network) lo indican como una alternativa en pacientes en los que la embolización seriada, el denosumab o la radioterapia supone unos efectos inaceptables.

#### *Bifosfonatos y denosumab*

Su uso en tumores de células gigantes está en estudio. Ambos inhiben las células tumorales deteniendo la diferenciación de los osteoclastos (53).

Los bifosfonatos son fármacos antirreabsortivos. El zolendronato endovenoso se ha empleado para el control local tras una resección intralesional (54), (55).

El denosumab es un anticuerpo monoclonal que bloquea el RANKL (56), inhibiendo la activación de los osteoclastos. Ha proporcionado buenos resultados clínicos en términos de reducción del tumor y control local, pero los seguimientos son todavía demasiado cortos (40), (57), (58), (59).

### 1.1.2.2.4.2.4. OTROS TRATAMIENTO ADYUVANTES

Existe poca información sobre el uso de la crioterapia, la coagulación con argón, partículas radioactivas y el uso de polimetilmetacrilato (PMMA) para relleno de defectos óseos (60), (61), (62).

### 1.1.2.3. SARCOMA DE EWING

#### 1.1.2.3.1. EPIDEMIOLOGIA

Son tumores agresivos con alta tendencia a la recidiva local y a la metástasis tras su resección. El 20% presentan metástasis en el momento del diagnóstico.

Es el segundo tumor óseo maligno primario más frecuente en niños y adolescentes, tras el osteosarcoma (63). Más de un 50% se localizan en el sacro (64).

#### 1.1.2.3.2. CLÍNICA

La clínica más frecuente es el dolor. Puede aparecer como una masa palpable, fiebre, anemia, leucocitosis y aumento de la velocidad de sedimentación globular (VSG), pudiéndose confundir con una infección. La enzima lactato deshidrogenasa sérica (LDH) es una indicadora de la carga tumoral (65).

#### 1.1.2.3.3. PRUEBAS DE IMAGEN

En radiografía simple y TC presenta un aspecto agresivo muy variable, y se suele acompañar de una gran masa de partes blandas (66).

En RM la imagen es muy variable, con un aspecto heterogéneo de intensidad intermedia y baja en T1 e hiperintensa en T2 (66).

#### 1.1.2.3.4. ANATOMÍA PATOLÓGICA

El sarcoma de Ewing pertenece al grupo de tumores de células pequeñas redondas azules de la infancia, que es una familia de neoplasias indiferenciadas con una expresión fenotípica múltiple, pero con una alteración genética en común. Los subtipos son: clásico (convencional), atípico, con diferenciación vascular y neuroepitelioma periférico (67).

Macroscópicamente, es una masa gris y hemorrágica. En una biopsia abierta se presenta como un tejido amarillento y semifluido intramedular o subperióstico que podría ser confundido con pus (67).

Microscópicamente, presenta un patrón difuso desestructurado formado en su mayoría por células pequeñas redondas azules, uniformes con citoplasma con glucógeno PAS+ (67).

Los estudios de microscopía electrónica, la inmunohistoquímica (CD99), y los de citogenética y moleculares, deben realizarse en la biopsia inicial. En más del 90% de los casos se presenta la translocación  $t(11;22)(q24;q12)$  y en el 10% la  $t(21;12)(22;12)$  (68).

El diagnóstico diferencial incluye el linfoma, el neuroblastoma y el rhabdomyosarcoma embrionario.

#### 1.1.2.3.5. TRATAMIENTO

##### 1.1.2.3.5.1. GENERALIDADES

Aunque en la mayoría de casos se presenta de forma localizada, las metástasis pueden desarrollarse rápidamente. Por ello, se considera que la enfermedad microscópica ya está presente en el momento del diagnóstico (69).

La quimioterapia multifarmacológica combinada con cirugía o radioterapia aumenta las tasas libres de enfermedad del 50%-80% (70), (71), siendo uno de los pilares del tratamiento del sarcoma de Ewing.

#### 1.1.2.3.5.2. QUIMIOTERAPIA

El manejo inicial del tumor es la quimioterapia sistémica multifarmacológica entre 6 meses y 1 año. Siempre incluye vincristina, doxorubicina, ifosfamida y etopósido. La mayoría de protocolos también incluyen la ciclofosfamida y algunos la dactinomicina. Los protocolos estadounidenses generalmente alternan ciclos de vincristina, ciclofosfamida, y doxorubicina con ciclos de ifosfamida y etopósido (72), mientras que los europeos suelen combinar vincristina, doxorubicina y un fármaco alquilante con etopósido o sin él, en un único ciclo (73). Un ensayo del European Intergroup Cooperative Ewing Sarcoma indicó que la adición de etopósido a los cuatro fármacos aumentaba significativamente la supervivencia en pacientes con enfermedad localizada (74).

#### 1.1.2.3.5.3. RADIOTERAPIA

La radioterapia como tratamiento único se indica si solo es posible una resección intralesional (75). Como tratamiento adyuvante los resultados en pacientes con enfermedad microscópica residual son controvertidos (76), (77).

#### 1.1.2.3.5.4. TRATAMIENTO QUIRÚRGICO

La cirugía es eficaz y adecuada para los pacientes que pueden someterse a una resección completa con una morbilidad aceptable. La resección en bloque presenta una baja tasa de recurrencia local en comparación con la intralesional (78), (79).

#### 1.1.2.3.5.5. QUIMIOTERAPIA A ALTAS DOSIS CON TRASPLANTE DE CÉLULAS MADRE HEMATOPOYÉTICAS (TCMH)

Para los pacientes con alto riesgo de recaída se ha descrito la quimioterapia a altas dosis con TCMH como tratamiento de consolidación (80).

### 1.1.2.4. CONDROSARCOMA

#### 1.1.2.4.1. EPIDEMIOLOGIA

Es un tumor maligno, de crecimiento lento. Su localización sacra es muy poco frecuente (81), ubicándose en sus segmentos superiores (82).

La mayoría aparecen en un hueso previamente sano (formas primarias), presentando mejor pronóstico que las que lo hacen sobre lesiones óseas (formas secundarias) (83).

#### 1.1.2.4.2. PRUEBAS DE IMAGEN

La TC muestra un área de destrucción ósea y de mineralización de la matriz condroide y frecuente afectación de tejidos blandos (84).

La RM en T2 muestra imágenes con áreas hiperintensas, por el cartílago hialino, y áreas hipointensas, por la zona mineralizada. En T1 presenta una imagen de intensidad de baja a intermedia. Con gadolinio se produce un realce periférico y septal ("en anillos y arcos") muy característico (84).

#### 1.1.2.4.3. ANATOMÍA PATOLÓGICA

Macroscópicamente es una lesión lobulada parecida al cartílago hialino sano (85).

Microscópicamente presenta una abundante matriz condroide, osificación endcondral o degeneración mixoide dispuestos en lóbulos, con cambios mixoides o licuefacción de la matriz condroide (85).

Se clasifican en tipo convencional (88%-90%), tipo de células claras (20%), el mesenquimal (2%) y el desdiferenciado (86).

El diagnóstico diferencial debe incluir el meningioma angioblástico, el osteosarcoma, el sarcoma de Ewing y el hemangiopericitoma.

#### 1.1.2.4.4. TRATAMIENTO

##### 1.1.2.4.4.1. CIRUGÍA

El tratamiento de elección es la resección en bloque con márgenes amplios libres de tumor proporcionando un buen control local, con una tasa de recurrencia del 3%-20% (86), (87), (88) y una mayor supervivencia con respecto a la resección subtotal o la intralesional (88).

##### 1.1.2.4.4.2. RADIOTERAPIA

La radioterapia está indicada tras una resección incompleta de un condrosarcoma convencional de alto grado, desdiferenciado, o mesenquimal para maximizar el control local de la lesión (intención curativa) y en situaciones en las que la resección no es factible o que podría causar una morbilidad inaceptable (intención paliativa) (89).

##### 1.1.2.4.4.3. QUIMIOTERAPIA

La quimioterapia se puede indicar como tratamiento adyuvante o único en tumores irreseccables o en enfermedad metastásica (89), (90).

### 1.1.2.5. OSTEOSARCOMA

#### 1.1.2.5.1. EPIDEMIOLOGÍA

Es un tumor maligno, muy poco frecuente en columna (0,85%-3%) pero es el sarcoma más frecuente en la columna vertebral (91). Solamente un 21% se localizan en sacro (92).

La enfermedad de Paget es el factor de riesgo conocido más frecuente, pero menos de un 1% de los pacientes con esta patología desarrollan una degeneración maligna (93).

Presentan un mal pronóstico, asociando altas tasas de recurrencia, metástasis y mortalidad (94), (95). De un 15%-62% de las metástasis están presentes en el diagnóstico (96), (97).

#### 1.1.2.5.2. PRUEBAS DE IMAGEN

En TC y radiología simple da patrones mixtos (92), (98).

En RM da imágenes inespecíficas. Los niveles fluido-fluido se han asociado con el osteosarcoma telangiectásico (92).

En el momento del diagnóstico es necesario un estudio de extensión que incluya una TC tóraco-abdomino-pélvica y una gammagrafía ósea para descartar enfermedad metastásica o lesiones multifocales.

#### 1.1.2.5.3. ANATOMÍA PATOLÓGICA

Está formado por tejido conectivo, cuyas células producen osteoide y varios tipos de matriz extracelular (99).

Se han descrito los siguientes subtipos: central bajo grande, convencional (que incluye los tipos fibroblástico, condroblástico y osteoblástico), teleangiectásico, de células pequeñas, secundario, parostal, periostal y superficial de alto grado (99).

#### 1.1.2.5.4. TRATAMIENTO

El tratamiento de elección es la resección en bloque con márgenes libres de tumor tras un tratamiento quimioterápico sistémico (100), (101).

##### 1.1.2.5.4.1. CIRUGÍA

Existen pocos estudios que describan los resultados de la resección en bloque con márgenes amplios en el condrosarcoma, pero todos presentan mejores resultados que la intralesional en cuanto a recurrencia local y supervivencia (95), (97), (102), (103).

##### 1.1.2.5.4.2. QUIMIOTERAPIA

En comparación con el tratamiento solo quirúrgico o la quimioterapia posoperatoria, la quimioterapia neoadyuvante durante 8-12 semanas ofrece una mejor respuesta, con supervivencias más largas y mayor tiempo hasta la aparición de metástasis (104).

##### 1.1.2.5.4.3. RADIOTERAPIA

La radioterapia está indicada en caso de enfermedad microscópica, resección incompleta o recidiva y pacientes que no son candidatos a cirugía. Es un tumor muy resistente a dosis convencionales de radioterapia externa con haz fotónico, precisando altas dosis para lograr un buen control local de la lesión (6).

En el momento de valorar el tratamiento con radioterapia para lograr el control local del tumor hay que tener en cuenta que aumenta el riesgo de desarrollo de sarcomas (incidencia menor al 5%) (105).

### 1.1.2.6. PLASMOCITOMA Y MIELOMA MÚLTIPLE

#### 1.1.2.6.1. EPIDEMIOLOGIA

El mieloma múltiple es el segundo tumor primario maligno del sacro en frecuencia (106). Predomina en hombres de 40-50 años (7).

En un 5%-10% se localiza en hueso como lesión única (107), denominándose plasmocitoma solitario. Estos se dan en personas generalmente más jóvenes y con mayor frecuencia en varones y presentan mejor pronóstico que los afectos de mieloma múltiple (107). Generalmente el plasmocitoma progresa a mieloma múltiple en un 65%-84% en 10 años y en un 65%-100% en 15 años (107).

#### 1.1.2.6.2. PRUEBAS DE IMAGEN

La radiografía simple y la TC en el plasmocitoma muestran lesiones líticas con márgenes escleróticos y en el mieloma múltiple, aspecto de sacabocados (16).

En la RM, la lesión con efecto masa es isoíntensa o ligeramente hiperíntensa en T1 e hipointensa en T2, con un débil refuerzo homogéneo (16).

#### 1.1.2.6.3. ANATOMÍA PATOLÓGICA

Está formado por células plasmáticas neoplásicas, con núcleos excéntricos, redondos y moderadamente pleomórficos. La inmunohistoquímica confirma la estirpe y la monoclonalidad de las células plasmáticas (16).

#### 1.1.2.6.4. TRATAMIENTO

El tratamiento de elección para el plasmocitoma solitario es la radioterapia local sin cirugía, con un control local de un 80%-100% de la lesión (108). La cirugía se reserva para casos de inestabilidad o de déficit neurológico (109).

### 1.1.2.7. LINFOMA PRIMARIO

#### 1.1.2.7.1. EPIDEMIOLOGIA

Constituye menos del 5% de los tumores óseos malignos. La afectación sacra es poco frecuente (110).

##### 1.1.2.7.1.1. PRUEBAS DE IMAGEN

La TC muestra una lesión lítica, destructiva, con una masa paravertebral (111). En la RM, la médula ósea muestra una imagen hipointensa e isointensa en T1 y una isointensa o hiperintensa en T2. Con contraste muestra un realce difuso (111).

##### 1.1.2.7.1.2. ANATOMÍA PATOLÓGICA

La mayoría de los linfomas primarios a este nivel son linfomas difusos de células B grandes. El diagnóstico se basa en la identificación de una población clonal mediante estudios de inmunohistoquímica o citometría de flujo.

##### 1.1.2.7.1.3. TRATAMIENTO

El tratamiento indicado es la quimioterapia sistémica y la radioterapia. La cirugía solo está indicada en caso de compresión neurológica (6).

### 1.1.2.8. QUISTE ÓSEO ANEURISMÁTICO

#### 1.1.2.8.1. EPIDEMIOLOGÍA

Es una lesión ósea de malignidad intermedia y localmente agresiva. Su localización en sacro es poco frecuente (112), (113). Pueden ser lesiones primarias (de novo) o secundarias (asociadas a otras lesiones, como hemangiomas u osteoblastomas, que han sufrido cambios quísticos hemorrágicos) (114).

#### 1.1.2.8.2. PRUEBAS DE IMAGEN

Radiológicamente se muestran como lesiones líticas expansivas, de patrón geográfico, con una zona de radiotransparencia y adelgazamiento de la cortical (imagen en "cáscara de huevo").

En TC presentan un patrón en "pompas de jabón" con lesiones líticas multilobuladas con niveles fluido-fluido.

La RM muestra niveles fluido-fluido (115) y componentes quísticos que varían en apariencia en T1 y T2 dando un aspecto heterogéneo a la lesión y presenta realce periférico con gadolinio en el 96% (116).

### 1.1.2.8.3. ANATOMÍA PATOLÓGICA

Macroscópicamente se ha descrito como una “esponja llena de sangre” (117).

Microscópicamente está formado por espacios quísticos llenos de sangre, sin recubrimiento endotelial, separados por tabiques fibrosos de fibroblastos y células multinucleadas gigantes tipo osteoclastos y hueso reactivo (117). En un tercio de los casos el hueso es basófilo y se ha denominado “hueso azul” (118), sin embargo, su presencia no es diagnóstica.

El diagnóstico diferencial incluye otras lesiones osteolíticas agresivas, como el tumor de células gigantes, el osteosarcoma de bajo grado o el telangectásico, el condroblastoma, fibroma condromixoide, quiste óseo simple roto, fibrosarcoma, quiste óseo simple, osteoblastoma, displasia fibrosa, histiocitoma fibroso y plasmocitoma (119), (120).

### 1.1.2.8.4. TRATAMIENTO

La resección en bloque es el tratamiento de elección presentando altas tasas de curación (121), (122), (123), (124).

La embolización arterial, se emplea como tratamiento único o neoadyuvante para disminuir el sangrado quirúrgico (125). Actualmente, es la primera opción de tratamiento para tumores intactos cuando el diagnóstico es certero (126). También se ha empleado la inyección de una solución esclerosante (127) y de calcitonina y metilprednisolona (128).

La radioterapia como terapia única ha demostrado producir una progresión de la enfermedad (112), (129). Por ello se indica en lesiones irresecables, enfermedad agresiva recurrente o en caso de asociar una alta morbilidad.

La vertebroplastia y la cifoplastia se han empleado para reforzar los defectos óseos tras el curetaje (130).

## 1.1.3. TUMORES NEUROGÉNICOS

### 1.1.3.1. SCHWANOMA

#### 1.1.3.1.1. EPIDEMIOLOGÍA

Es un tumor benigno que deriva de las células de Schwann de la vaina del nervio periférico (131). La mayoría de veces se presenta de forma aislada, o puede asociarse a la enfermedad de von Recklinghausen, presentando un mayor riesgo de transformación maligna. Suelen debutar en la cuarta y quinta década de vida (131).

#### 1.1.3.1.2. PRUEBAS DE IMAGEN

En RM son masas bien definidas con un contenido heterogéneo hipointenso en T1 e hiperintenso en T2 (132). La TC muestra masas hipodensas, que puede contener áreas de degeneración quística, hemorragias o calcificaciones (132).

#### 1.1.3.1.3. ANATOMÍA PATOLÓGICA

Macroscópicamente, son tumores bien delimitados por una cápsula fibrosa. Muestran una coloración blanquecina y brillante.

Microscópicamente, se componen de células fusiformes con núcleos de aspecto ondulado y citoplasma pálido eosinófilo, presentando dos patrones: denso/hiper celular (A de Antoni) e hipocelular (B).

Son positivos para la proteína S-100 (133), (134).

El diagnóstico diferencial se realiza con tumores metastásicos derivados de órganos sólidos, sarcomas y otros tumores derivados de la cresta neural (135).

#### 1.1.3.1.4. TRATAMIENTO

El tratamiento de elección es la resección completa. No responden a quimioterapia ni a radioterapia (134).

### 1.1.3.2. EPENDIMOMA

#### 1.1.3.2.1. EPIDEMIOLOGÍA

Es un tumor maligno que se origina en las células endimarias que recubren el canal vertebral o del filum terminal y se expanden hacia el canal sacro. Constituye menos de un 5% de todos los tumores sacrococcígeos (136). Pueden asociarse a la neurofibromatosis tipo 2.

Son más frecuentes en varones en la cuarta década de vida (137).

#### 1.1.3.2.2. PRUEBAS DE IMAGEN

La RM es la prueba de elección. Es muy importante valorar la posible diseminación del tumor en el líquido cefalorraquídeo (138).

#### 1.1.3.2.3. ANATOMÍA PATOLÓGICA

Macroscópicamente se presentan como grandes masas.

Microscópicamente presentan células monomórficas con núcleos punteados y pseudorosetas perivasculares y endimarias. También presentan otras áreas con cambios regresivos (degeneración mixoide, hemorragias y calcificaciones)

Presenta positividad para la proteína gliofibrilar ácida (GFAP), S100, vimentina y EMA.

Se clasifican en tres subtipos: mixopapilar, papilar y subependimal. En el sacro la mayoría son mixopapilares (139), (140), (141).

#### 1.1.3.2.4. TRATAMIENTO

La resección en bloque es el tratamiento de elección, presentando menores tasas de recidiva y mayor supervivencia que la resección intralesional (142), (143), (144), (137).

La radioterapia adyuvante está indicada en resecciones incompletas, tras la resección de una recurrencia local, o en caso de metástasis (138), (145), (143).

### 1.1.3.3. TUMOR MALIGNO DE VAINA NERVIOSA

#### 1.1.3.3.1. EPIDEMIOLOGÍA

Es un tumor maligno que se desarrolla a expensas de los troncos nerviosos principales incluyendo el nervio ciático, el plexo braquial y plexo sacro (146). El 50% se asocia a la neurofibromatosis tipo 1, y hasta el 66,7% se originan sobre neurofibromas previos, principalmente de tipo plexiforme (147).

#### 1.1.3.3.2. PRUEBAS DE IMAGEN

La RM da una imagen inespecífica. En TC presenta una imagen erosiva (133).

#### 1.1.3.3.3. ANATOMÍA PATOLÓGICA

Es un tumor de alto grado. Su diagnóstico histológico es muy difícil debido a la falta de marcadores histológicos e inmunohistoquímicos y criterios diagnósticos estandarizados. La proteína S-100 se presenta en un 50%-90%, Leu-7 en un 50%, la proteína básica de la mielina en un 40% y Ki-67 en un 5%-65% (148).

#### 1.1.3.3.4. TRATAMIENTO

La cirugía radical es el tratamiento de elección (146). La radioterapia puede tener un efecto local y también retarda la recurrencia tumoral (146). No es sensible a la quimioterapia (146).

### 1.1.4. TUMORES PRESACROS

#### 1.1.4.1. TERATOMA SACROCCÍGEO

##### 1.1.4.1.1. EPIDEMIOLOGÍA

Son tumores derivados de células germinales pluripotenciales. El 75% son benignos, el 12% malignos y el 13% inmaduros (149). En general, los benignos se presentan en bebés menores de 5 meses (149).

En la infancia el 20% son identificados prenatalmente, el 70% en el nacimiento y un 100% en el primer año de vida y presentándose en general en forma de una obstrucción intestinal (149). En los adultos, los teratomas sacrococcígeos son raros y más frecuentemente benignos (149).

##### 1.1.4.1.2. PRUEBAS DE IMAGEN

En la radiografía simple, se presentan como masas de tejidos blandos con calcificaciones (150). En TC y RM muestran un aspecto mixto heterogéneo con componentes sólidos y quísticos (150).

El diagnóstico prenatal se produce durante el segundo trimestre de embarazo en una ecografía de rutina (151), (152).

##### 1.1.4.1.3. ANATOMÍA PATOLÓGICA

Está formado por células de las tres capas de células germinales. Presenta componentes mezclados sólidos, quísticos o mixtos. No presentan cápsula o pseudocápsula. Se pueden presentar en forma de teratoma maduro, inmaduro y maligno.

##### 1.1.4.1.4. TRATAMIENTO

La resección quirúrgica completa es el tratamiento definitivo para el teratoma sacrococcígeo. Una cirugía temprana da unos resultados favorables a largo plazo y una buena calidad de vida (149).

## 1.2. ANATOMÍA QUIRÚRGICA DE LA REGIÓN SACROPÉLVICA

### 1.2.1. CINTURA PÉLVICA

La cintura pélvica es un anillo osteoarticular con forma de embudo que conecta la cavidad abdominal y la pélvica (153). Está formada por los coxales y el sacrococcix y las articulaciones lumbosacras, la sínfisis púbica, las sacroilíacas y las sacrococcígeas (153) (Ilustración 3).

La cavidad pelviana está limitada inferiormente por el diafragma pélvico y superiormente por el estrecho superior (153). Se divide en la pelvis mayor y menor (153).

El estrecho superior de la pelvis es el orificio de entrada a la misma desde el abdomen. Está formado por el borde superior de la sínfisis púbica y de las ramas púbicas, la eminencia iliopectínea, la línea innominada, la articulación sacroilíaca, el ala sacra y el promontorio sacro (153).

El estrecho inferior tiene como límites el borde inferior de la sínfisis púbica, el ligamento arcuato del pubis, las ramas isquiopúbicas y las tuberosidades isquiáticas, el ligamento sacrociático mayor hasta el ápex del sacro (153).

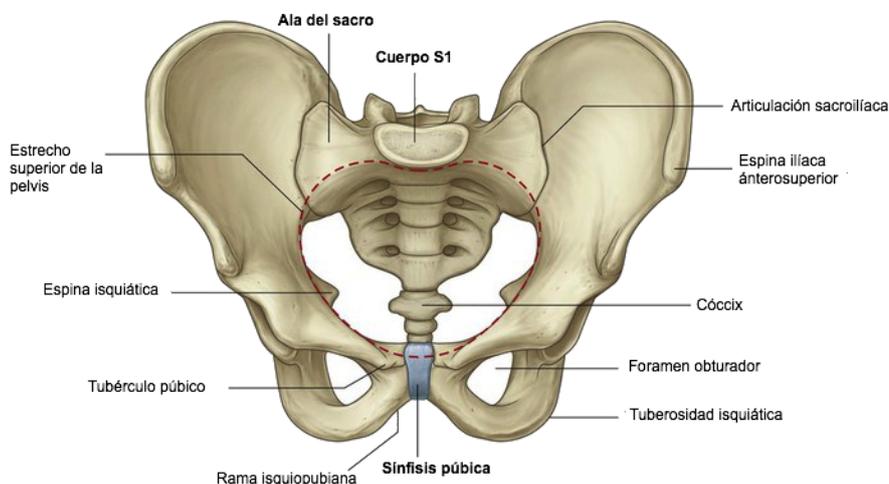


Ilustración 3. Cintura pélvica. Tomado de Drake et al. (154)

### 1.2.2. ESTRUCTURAS ÓSEAS

#### 1.2.2.1. SACRO

##### 1.2.2.1.1. GENERALIDADES

El sacro está formado por cinco vértebras fusionadas formando una pirámide invertida de base superior y ápex inferior (155). Mide 10,6 cm de alto y 10,9 cm de base (156). Es cóncavo anteriormente, de forma que su base se localiza por delante del ápex (157).

##### 1.2.2.1.2. CANAL SACRO

El canal sacro es la continuación inferior del canal vertebral y finaliza en el hiato sacro. Está formado por los canales vertebrales de las cinco vértebras sacras. Las astas sacras, resto de las apófisis articulares inferiores de S5, se proyectan a cada lado del hiato sacro (158). Contiene los 5 nervios sacros y el coccígeo, que salen a través del hiato sacro (155).

### 1.2.2.1.3. BASE DEL SACRO

La base del sacro está formada por la primera vértebra sacra. Su borde anterior se denomina promontorio (159). Sus pedículos son pequeños y se extienden a las láminas, que se unen posteriormente formando el tubérculo espinoso. Las apófisis transversas se fusionan lateralmente con los elementos costales formando las alas sacras, cóncavas en su superficie anterior acomodando los músculos psoas mayor (159). Lateralmente a las apófisis articulares superiores de S1 se encuentran las escotaduras sacras superiores, permitiendo el paso de los nervios L5 que descienden por las alas sacras para formar el tronco lumbosacro (155). El foramen vertebral de S1 es triangular y constituye el principio del canal sacro (159).

### 1.2.2.1.4. SUPERFICIE LATERAL

La superficie lateral del sacro está formada por la fusión de los procesos transversos de los 5 segmentos sacros con los elementos costales (155) (Ilustración 4 C).

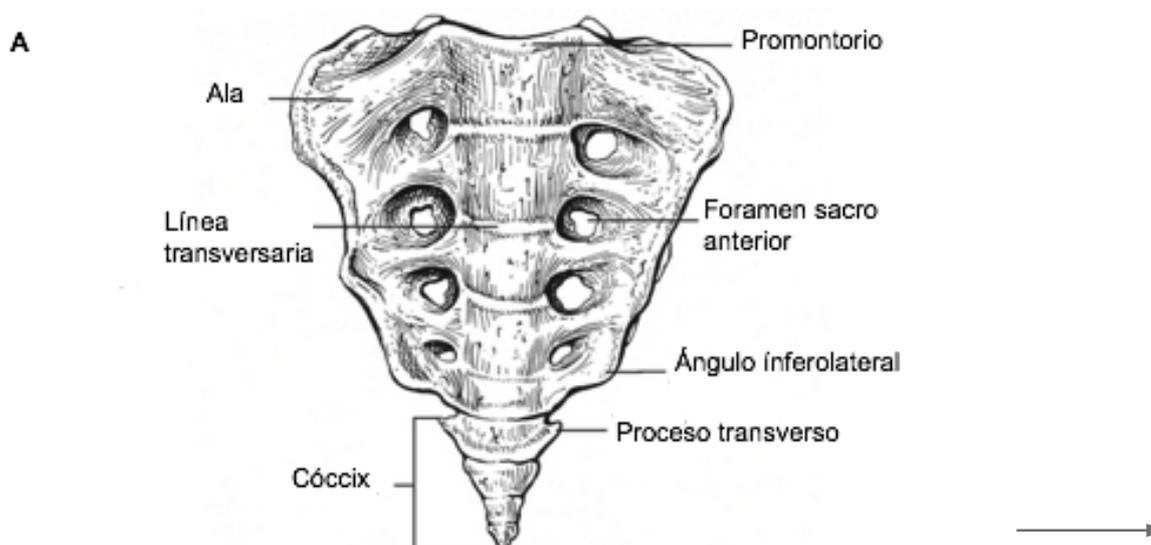
### 1.2.2.1.5. SUPERFICIE ANTERIOR

La superficie anterior del sacro es lisa y cóncava en el plano sagital y axial. Forma la pared posterior de la cavidad pélvica conteniendo las vísceras y dando origen a los músculos piriforme y coccígeo (158). Los tres primeros cuerpos están cubiertos por peritoneo. El recto contacta con el sacro y la bifurcación de la arteria rectal superior se interpone entre ellos (158).

En el adulto presenta 4 crestas transversales que corresponden a las zonas de fusión de las cinco vértebras sacras, en cuyos extremos se encuentran los forámenes sacros (4 a cada lado) a través de los que salen las ramas anteriores de los 4 primeros nervios sacros y las ramas de las arterias sacras laterales que irrigan las estructuras del canal (Ilustración 4 A) (158).

### 1.2.2.1.6. SUPERFICIE DORSAL

La superficie dorsal del sacro es convexa. Incluye 5 crestas longitudinales conocidas como mediana, intermedia (izquierda y derecha) y laterales (izquierda y derecha), representando la fusión de las espinosas, articulares y procesos transversos respectivamente (155). La cresta sacra media se origina en la fusión de las 3 ó 4 primeras apófisis espinosas rudimentarias de las vértebras sacras y finaliza a nivel del hiato sacro (155) (Ilustración 4 B). Existen también 4 forámenes laterales a la cresta sacra media que contienen las ramas posteriores de los nervios sacros y las ramas arteriales foraminales de la arteria sacra lateral (160).



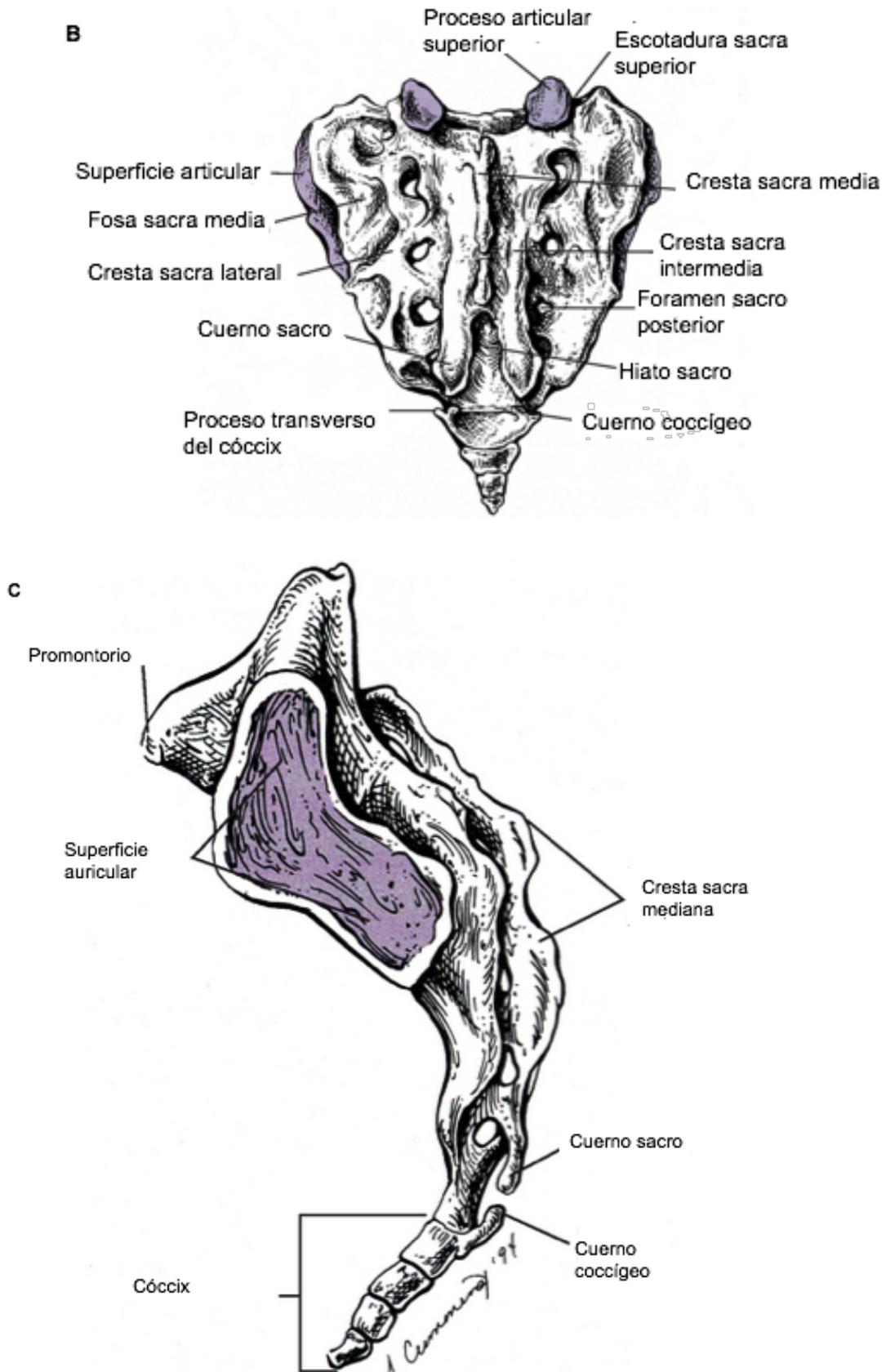


Ilustración 4. Visión anterior (A), posterior (B) y lateral (C) del sacro. Tomado de Cramer et al. (155)

### 1.2.2.2. CÓCCIX

Está formado por la fusión de 3-5 segmentos coccígeos. Al igual que el sacro, tiene forma piramidal, con una superficie superior (base) y una inferior (el ápex) (155) (Ilustración 4 C). Se articula con el sacro mediante un pequeño disco y se unen por los ligamentos interóseos (sacrocoxígeo anterior, posterior y laterales). Los ligamentos intercornuales unen los cuernos del sacro y los del cóccix (155).

Los nervios de S5 y coccígeos emergen por el hiato sacro y pasan entre el ápex del sacro y el ligamento intercornual (155).

### 1.2.2.3. HUESO COXAL

El hueso coxal es un hueso plano, ancho y en forma de hélice, formado por el ilion, pubis e isquion (Ilustración 5). Cada uno se articula con el contralateral mediante la sínfisis púbica (153).

La cara externa del ilíaco presenta (153): la fosa ilíaca externa y la cavidad cotiloidea y el agujero isquiopúbico. La cara interna del ilíaco presenta: la fosa ilíaca interna (donde se inserta el músculo ilíaco), la tuberosidad ilíaca (donde se inserta el músculo sacrolumbar y contiene la superficie articular ilíaca), la rama horizontal del pubis, la rama descendente del isquion (donde se inserta el músculo obturador interno), la rama ascendente del isquion (donde se inserta el músculo obturador interno y los músculos del periné), la rama descendente del pubis (que presenta la superficie articular púbica) (153).

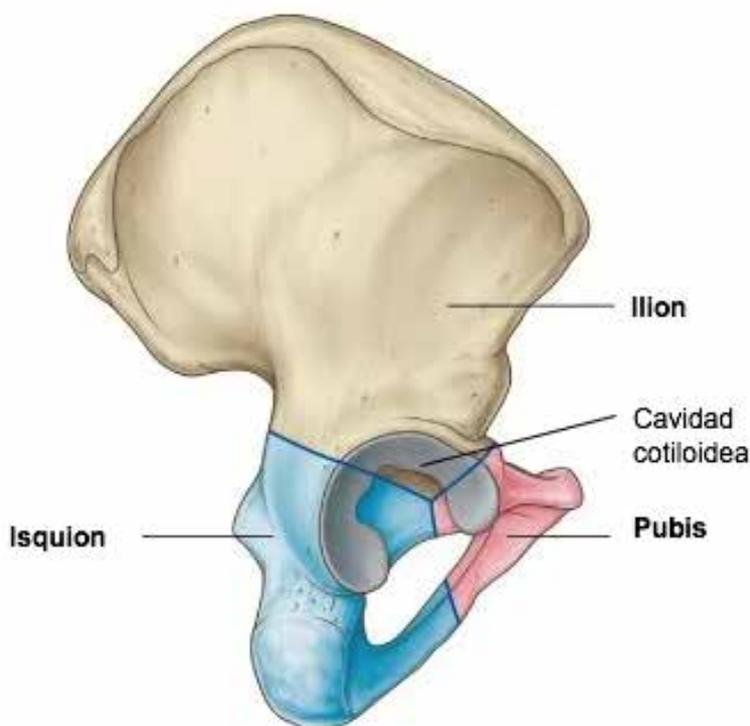


Ilustración 5. Hueso coxal. Tomado de Drake et al. (154)

### 1.2.2.4. ARTICULACIÓN LUMBOSACRA

El sacro se une superiormente con la columna vertebral mediante las articulaciones lumbosacras formadas entre la quinta vértebra lumbar y sacro que consiste en 2 articulaciones zigoapofisarias (entre las articulares inferiores de L5 y las superiores de S1) y el disco intervertebral entre el cuerpo vertebral de L5 y S1 (Ilustración 6 A) (153).

La superficie superior del sacro presenta una inclinación aproximada de 30° respecto a la horizontal, mientras que el ángulo lumbosacro.

Los ligamentos iliolumbares y los lumbosacros laterales ayudan a estabilizar la articulación lumbosacra (Ilustración 6 B).

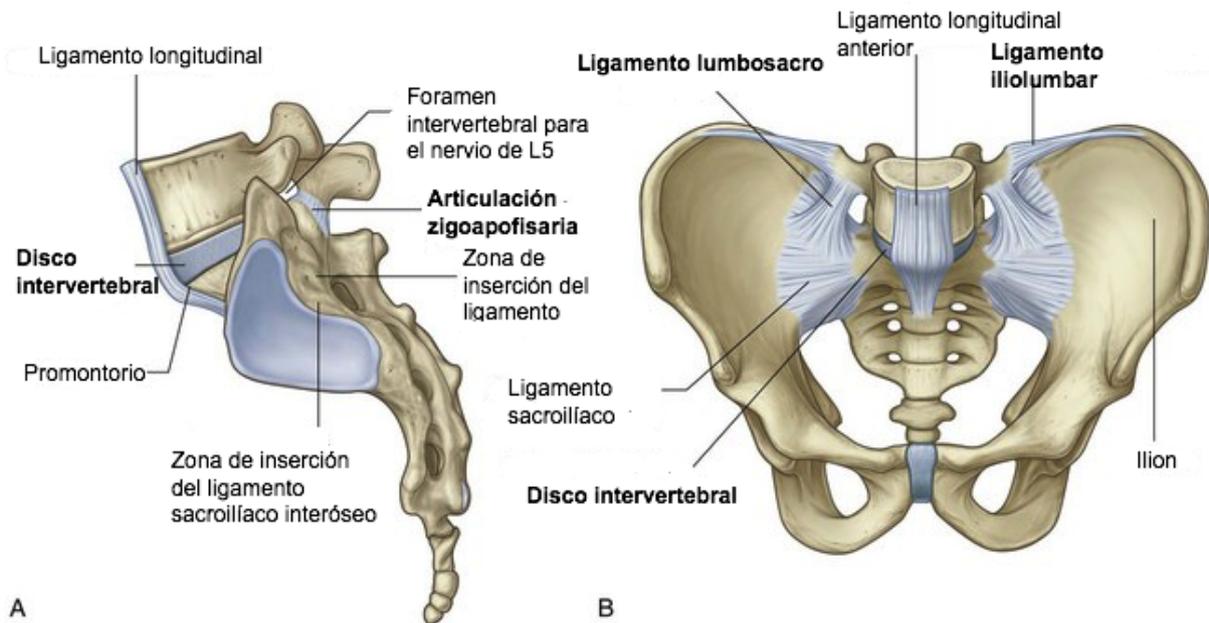


Ilustración 6. Articulación lumbosacra. Visión lateral (A). Visión anterior (B). Tomado de Drake et al. (154)

### 1.2.2.5. ARTICULACIÓN SACROILÍACA

#### 1.2.2.5.1. GENERALIDADES

La articulación sacroilíaca es una diartrosis de tipo plana en su tercio anterior y fibrosa tipo sindesmosis en sus dos tercios posteriores (155). Posee un área media de 17.5 cm<sup>2</sup> (155). Su margen superior está orientado posterior y superiormente, formando un ángulo con el margen superior de 71°-76° (161).

Es la articulación invadida más frecuentemente por tumores en el cuerpo humano favorecido, seguramente, por su gran componente ligamentoso (162) y su fusión ósea (163).

## 1.2.2.5.2. ANATOMÍA DESCRIPTIVA

### A) SUPERFICIES ARTICULARES

Las superficies articulares son irregulares, contribuyendo a la estabilidad de la articulación. La interlínea sacroilíaca en su cara endopélvica tiene forma de S itálica, por encima de la línea innominada es cóncava hacia adentro y por debajo es cóncava hacia afuera (155) (Ilustración 7).

#### A.1) Superficie articular ilíaca

Las superficies articulares ilíacas tienen forma de cruasán, con la concavidad orientada pósterosuperiormente. A lo largo de su eje mayor se observa una cresta alargada que sigue la dirección de un arco de círculo cuyo centro se encuentra a nivel de la tuberosidad ilíaca donde se insertan ligamentos que es comparado con un "rail lleno" (155).

#### A.2) Superficie articular sacra

Las superficies sacras de la articulación tienen forma de L o de oreja, por eso se les llama carillas auriculares. Están formadas por las 3 primeras vértebras sacras (155). Presenta 3 partes: superior (brazo corto), intermedia (istmo) e inferior (brazo largo) (155).

A lo largo del eje mayor de la superficie auricular se encuentra una depresión delimitada por dos crestas con forma de un arco de circunferencia, cuyo centro es el primer tubérculo (zona de inserción del ligamento axial), formando un "rail hueco" (155).

La región dentro de la concavidad posterior consta de 3 fosas (superior, media e inferior). El eje de rotación de la articulación sacroilíaca se encuentra sobre la fosa media. En ella se inserta la tuberosidad ilíaca, creando un eje alrededor del cual gira la cresta ilíaca dentro de la ranura sacra (155).

### B) CÁPSULA ARTICULAR

Solo se localiza en la parte anterior de la articulación, estando la superficie posterior recubierta por el ligamento sacroilíaco interóseo (155) (Ilustración 8 C).

### C) LIGAMENTOS

Se detallan posteriormente.

### D) MÚSCULOS

No existen músculos que muevan activamente las articulaciones sacroilíacas, pero sí algunos que lo hacen de forma indirecta (155).

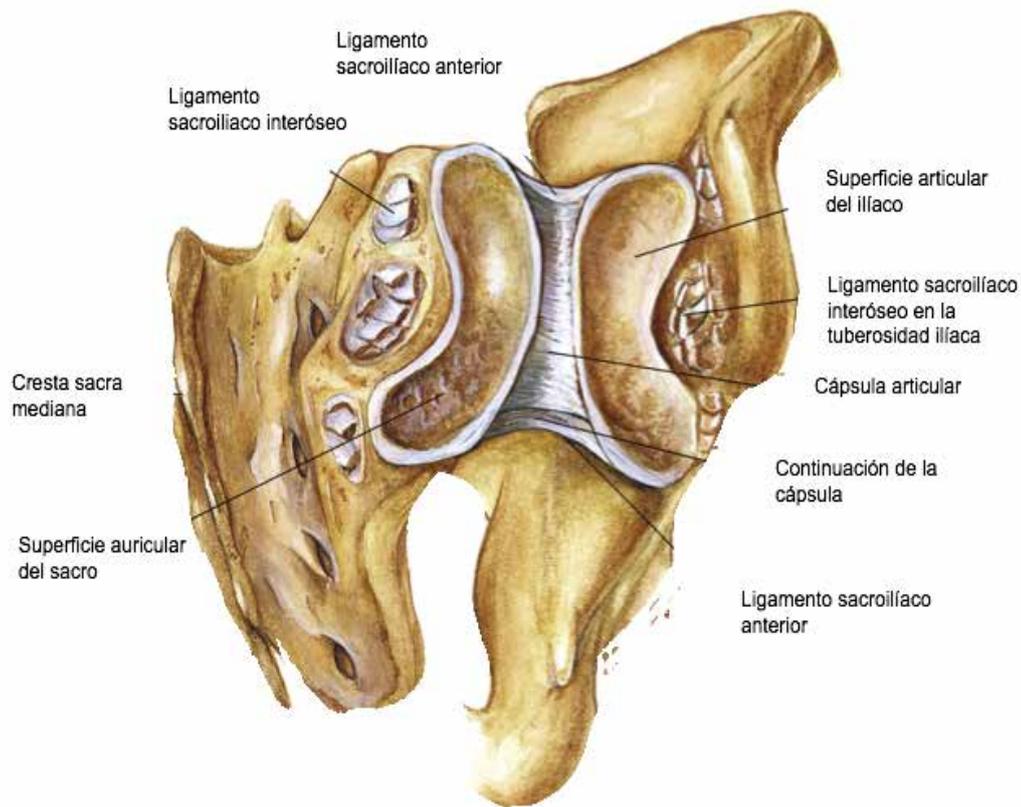


Ilustración 7. Visión posterior de una articulación sacroilíaca abierta. Tomada de Cramer et al. (155)

#### 1.2.2.5.3. VASCULARIZACIÓN E INERVACIÓN

La inervación de la parte anterior depende de las divisiones primarias anteriores de L2 a S2 y la parte posterior de las divisiones primarias posteriores de S1-S4, pudiendo participar también las ramas laterales de las divisiones primarias posteriores de L4 y L5 (155).

La vascularización depende de la arteria y vena sacra lateral (155).

#### 1.2.2.5.4. SÍNFISIS PÚBICA

La sínfisis púbica es una anfiartrosis formada por las superficies articulares púbicas. Cada una de ellas está cubierta por cartilago hialino y unidas por un fibrocartilago. Presenta un ligamento interóseo superior e inferior (155).

## 1.2.3. ESTRUCTURAS LIGAMENTOSAS

### 1.2.3.1. COMPLEJO LIGAMENTOSO POSTERIOR

- **Ligamento sacroilíaco interóseo**

Es el ligamento más fuerte de la articulación sacroilíaca (164). Une las tuberosidades del sacro y del ilion. Su principal función es mantener la unión de la articulación sacroilíaca, limitando su distracción y deslizamiento posterior (155). Clásicamente se conocen como los frenos de la nutación (155). Está formado por el ligamento sacroilíaco anterior y posterior.

#### Ligamentos sacroilíacos posteriores o iliотransverso

Se divide en una parte profunda (corta) y una superficial (larga):

##### a. Ligamento sacroilíaco posterior largo.

Presenta una dirección oblicua. Lateralmente, se inserta en la espina ilíaca pósterosuperior y en el borde interno de la cresta ilíaca. Medialmente, lo hace en el tubérculo de S3 y S4 (155). Algunas de sus fibras inferiores se unen con el ligamento sacrotuberoso (165) (Ilustración 8 B).

Da inserción a la fascia profunda del músculo glúteo mayor, la fascia tóracolumbar, la aponeurosis del origen común del músculo erector de la columna, y de las inserciones sacras del músculo multifidus (165).

Se tensa durante contranutación y se relaja durante la nutación del sacro (165). Dichos movimientos se desarrollan detalladamente en el apartado 1.3.3.1.1.1.

##### b. Ligamento sacroilíaco posterior corto (axial o vago).

Presenta una dirección horizontal. Se origina en la tuberosidad ilíaca y se inserta en las crestas transversas de S1 y S2 cubriendo la articulación sacroilíaca posteriormente. (Ilustración 8 B). Limitan el movimiento hacia delante del promontorio del sacro (155).

### 1.2.3.2. COMPLEJO LIGAMENTOSO ANTERIOR

- **Ligamento sacroilíaco anterior**

En la mayoría de los casos es solo un ligero engrosamiento de la cápsula anterior de la articulación sacroilíaca (155) (Ilustración 7 A).

Frenan la nutación, pero no proporcionan tanta estabilidad como los ligamentos interóseos y los sacroilíacos posteriores (155).

- **Ligamentos lumbosacros**

Se extienden desde las apófisis transversas de L5 hasta el ala sacra, formando un túnel osteofibroso, como extensión del foramen intervertebral, que es atravesado por la raíz L5 (155) (Ilustración 6 B).

### 1.2.3.3. LIGAMENTOS ACCESORIOS

- **Ligamento sacrotuberoso (o sacrociático mayor)**

Banda fibrosa dispuesta en abanico que se origina en la espina ilíaca pósterosuperior, espina ilíaca pósteroinferior, ligamento sacroilíaco posterior largo, cara inferior de la cresta sacra lateral y borde lateral e inferior del sacro y en la mitad superior del cóccix. El ligamento se estrecha y desciende para insertarse en la tuberosidad isquiática. En su cara posterior se insertan los músculos glúteos mayores. Contiene la rama coccígea de la arteria glútea inferior (155) (Ilustraciones 8 y 9).

- **Ligamento sacroespinoso (o sacrociático menor)**

Se origina en el borde lateral del sacro (S2, S3 y S4) y en cóccix y se inserta en isquion. Se sitúa por delante del ligamento sacrotuberoso (155) (Ilustraciones 8 y 9). Su principal función es evitar la rotación posterior del ilion respecto al sacro.

- **Ligamento iliolumbar**

Une las crestas ilíacas con las apófisis transversas de L5. Se forma en el engrosamiento inferior de dos capas de la fascia tóracolumbar (155) (Ilustración 6 B). Limita la flexión del tronco, la flexión lateral de la pelvis y la apertura de la parte superior de la articulación sacroilíaca (155).

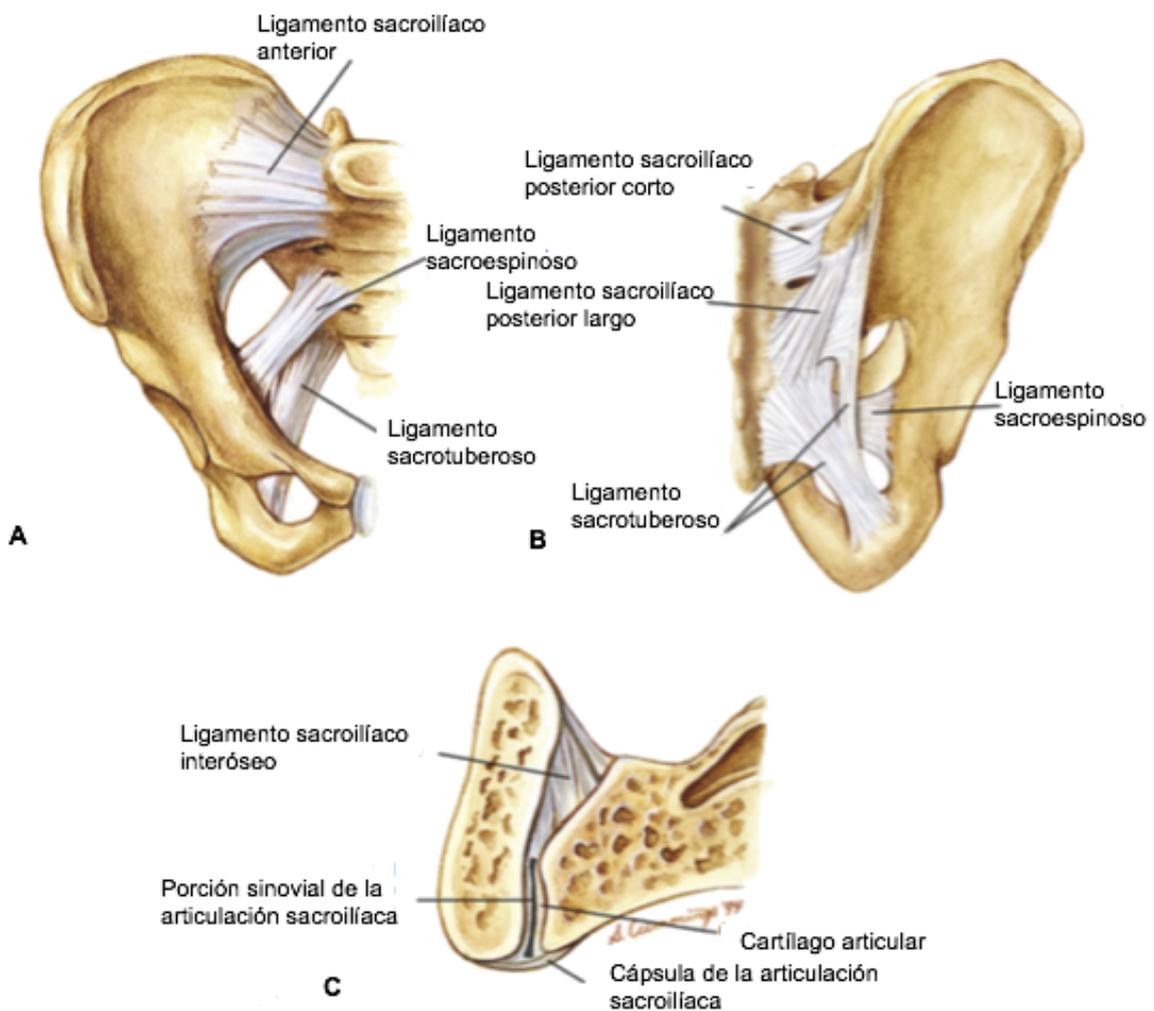


Ilustración 8. Ligamentos de la articulación sacroilíaca. (A) Vía anterior. (B) Vía posterior. (C) Sección horizontal de la articulación sacroilíaca. Tomada de Cramer et al. (155)

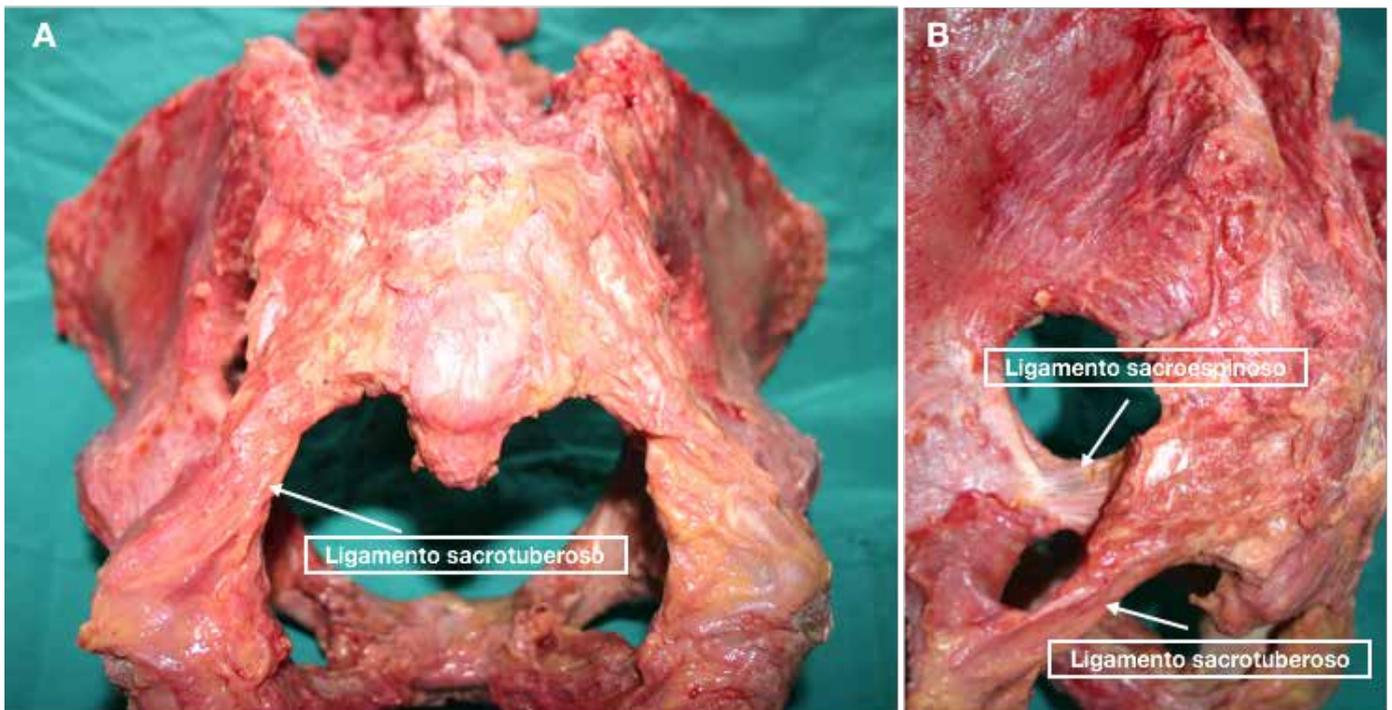


Ilustración 9. Imágenes de los ligamentos sacrotuberosos y sacroespinosos. (A) Visión posterior. (B) Visión sagital.

## 1.2.4. MUSCULATURA

Los músculos que actúan sobre la columna lumbar y la pelvis se enumeran a continuación.

### 1.2.4.1. MÚSCULOS ABDOMINALES Y COLUMNA VERTEBRAL

Los principales músculos abdominales y de la columna vertebral se describen en la Tabla 1 y algunos se muestran en las Ilustraciones 10 y 11.

Tabla 1. Principales músculos del abdomen y de la columna vertebral

MÚSCULO	ORIGEN	INSERCIÓN	INERVACIÓN	ACCIÓN
<b>M. ANTERIORES O DE LA PARED ABDOMINAL</b>				
Recto abdominal	Cartilago costal de la 5ª, 6ª y 7ª costilla. Xifoides	Sínfisis y cresta del pubis	N. toráco-abdominal de T7-T12	Flexión del tronco Compresión de vísceras torácicas
Transverso abdominal	Cresta ilíaca, ligamento inguinal, fascia tóracolumbar y diafragma	Línea pectínea. Línea alba. Cresta pubis	N. espinal torácico T8-T12, Iliohipogástrico, inguinal	Aumenta la presión intraabdominal
Oblicuo interno	Ligamento inguinal, cresta ilíaca y fascia tóracolumbar	Borde inferior de la 10ª-12ª costilla, línea alba y línea pectínea.	N. T6-T12 y L1	Compresión y sostén de las vísceras abdominales. Flexión y rotación del tronco.
Oblicuo externo	Cara externa de la 5ª-12ª costilla	Línea alba y sínfisis pubis	N. intercostales inferiores y subcostal	Sustento de vísceras abdominales. Flexión y rotación del tronco
Iliopsoas	Caras laterales de las vértebras y discos lumbares. 2/3 de fosa ilíaca	Trocánter menor del fémur	N. crural	Flexión de la cadera, abducción, rotación externa y aumento lordosis.
<b>M. LATEROVERTEBRALES</b>				
Cuadro lumbar	Cresta ilíaca Ligamento iliolumbar	12ª costilla, apófisis transversas de L1-L4	N. 12º torácico y el L4	Extensión y laterización del tronco. Inspiración.
<b>M. DEL GRUPO POSTERIOR</b>				
<b>A) PLANO PROFUNDO</b>				
Multífido	Sacro, músculo erector de la columna. Espina ilíaca pósterosuperior. Cresta ilíaca	Apófisis espinosas de vértebras	Ramo posterior nervio espinal	Estabiliza los movimientos de cada vértebra.
Erector de la columna	Apófisis espinosa de T9-T12	Apófisis espinosa de T1-T2	Ramos dorsales nervios espinales	Extensión y flexión lateral del tronco
Espinoso dorsal	Apófisis espinosas de T11-L2	Apófisis espinosas T1-T6	Ramo posterior nervio cervical	Extensión de la columna

MÚSCULO	ORIGEN	INSERCIÓN	INERVACIÓN	ACCIÓN
<b>M. DEL GRUPO POSTERIOR</b>				
<b>B) PLANO MEDIO</b>				
Serrato menor posterior e inferior	Apófisis espinosas de T11-L3	Bordes inferiores de las 9 <sup>a</sup> -12 <sup>a</sup> costillas	N. intercostal	Bajar la parte inferior costillas, ayudar en la espiración
<b>C) PLANO SUPERFICIAL</b>				
Dorsal ancho	Apófisis espinosas de T7-T12, fascia tóracolumbar, cresta ilíaca, costillas 9 <sup>a</sup> -12 <sup>a</sup>	Tubérculo menor del húmero	N. tóracodorsal	Flexión dorsal, rotación medial y aducción del brazo

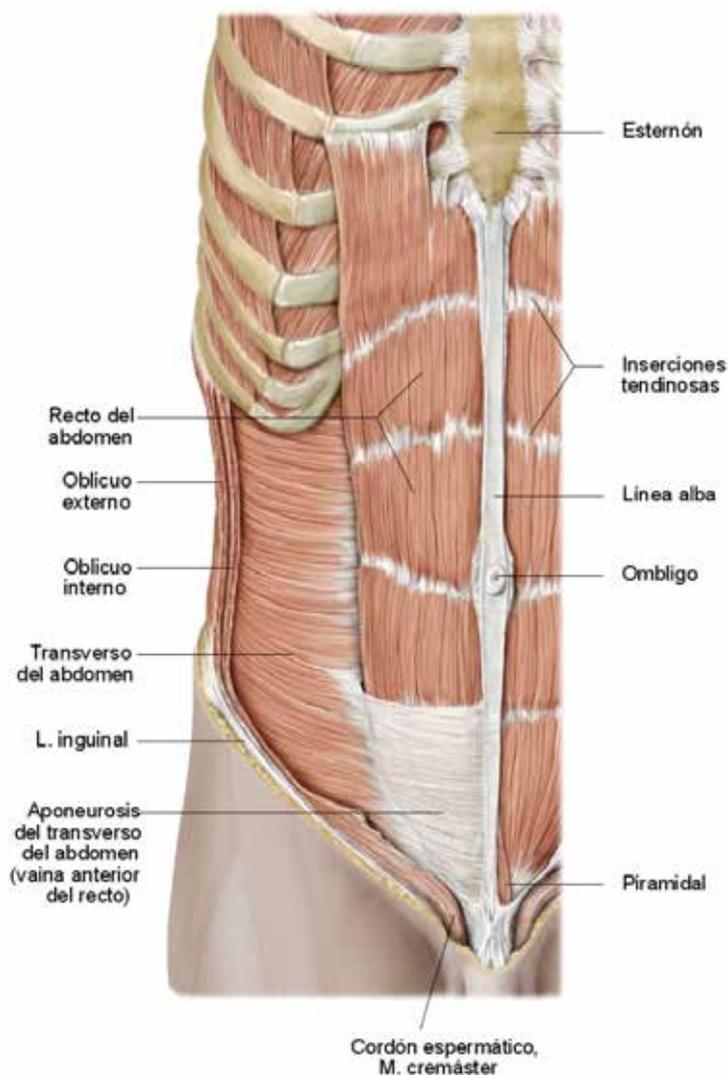


Ilustración 10. Músculos anteriores de la pared abdominal. Tomado de Drake et al (154)

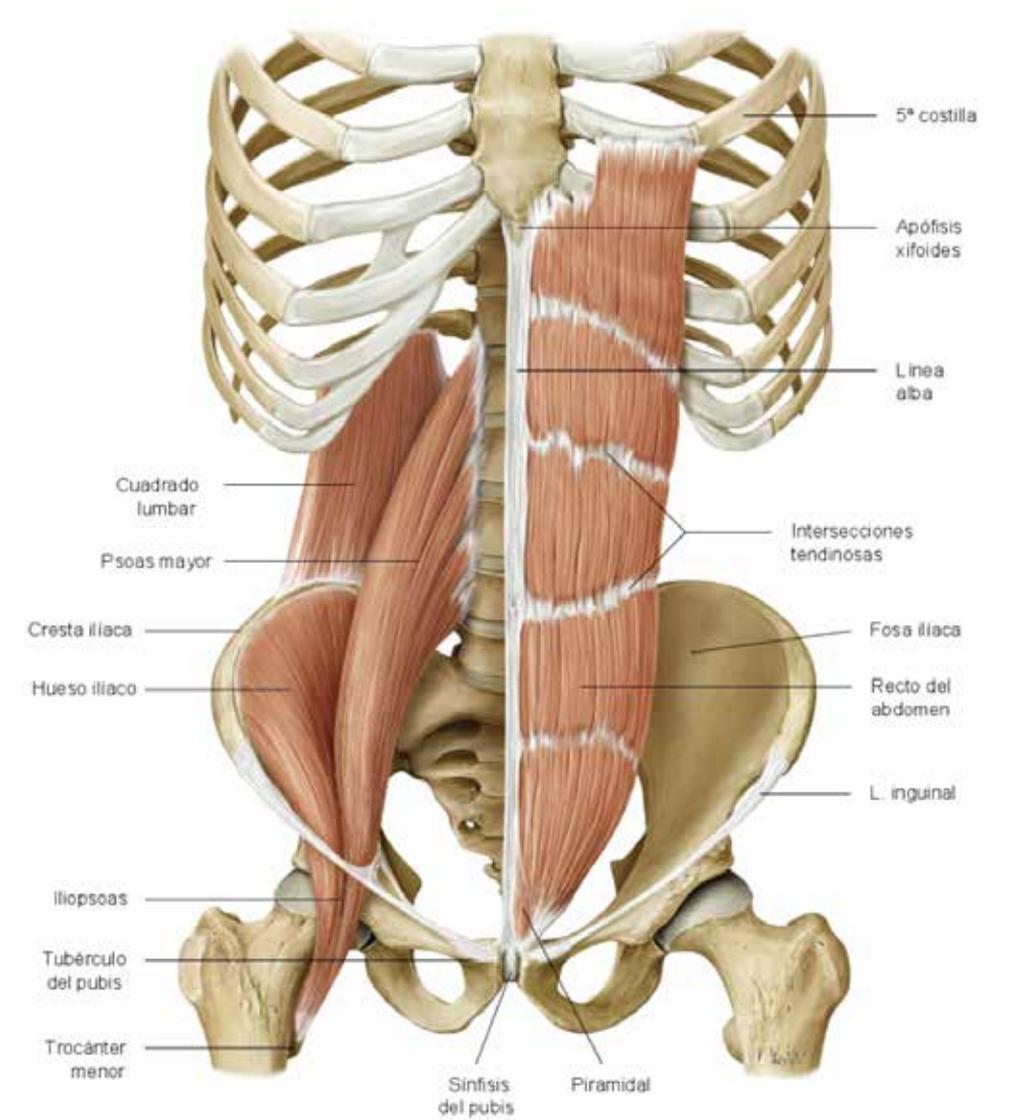


Ilustración 11. Músculos de pared abdominal posterior y laterovertebrales. Tomado de Drake et al. (154)

## 1.2.4.2. MÚSCULOS PELVITROCANTÉREOS

Los músculos pelvitrocantéreos son un grupo de seis músculos situados en el plano profundo, inmediatamente por debajo del borde inferior de la región glútea y por encima de los músculos isquiotiboperoneos. Los principales músculos pelvitrocantéreos se describen en la Tabla 2 y algunos se muestran en la Ilustración 12.

Tabla 2. Principales músculos de la pelvis

MÚSCULO	ORIGEN	INSERCIÓN	INERVACIÓN	ACCIÓN
<b>MÚSCULOS PELVITROCANTÉREOS</b>				
Piriforme	Vértebra S2-S4, anterior a la espina ilíaca pósteroinferior, y el ligamento sacrotuberoso	Trocánter mayor del fémur	N. del piriforme	Rotación externa y abducción de la cadera cuando esta se encuentra a 90°. Rotación interna en máxima flexión de la cadera
Géminos superior e inferior	Superior: espina ciática Inferior: tuberosidad isquiática Inferior: Cara externa del coxal, por debajo de la espina ciática	Fosa trocantérica del fémur	G. superior: N. Obturador interno G. inferior: N. Cuadrado femoral	Rotación externa. Abducción del muslo en flexión
Obturador interno	Membrana obturadora, isquion y borde del pubis	Trocánter mayor del fémur	N. del obturador	Rotación externa cadera
Obturador externo	Margen lateral del orificio obturador, rama del pubis y rama izquierda del isquion	Fosita trocantérica del fémur	N. obturador	Estabilización y aducción de la articulación coxofemoral
Cuadrado femoral	Borde lateral tuberosidad isquiática	Tubérculo cuadrado y cresta intertrocantérica del fémur	N. del cuadrado femoral (L5 S1)	Rotación externa cadera

MÚSCULO	ORIGEN	INSERCIÓN	INERVACIÓN	ACCIÓN
<b>RESTO DE MÚSCULOS GLÚTEOS Y PÉLVICOS</b>				
Glúteo mayor	Ilion (detrás de línea glútea posterior), cara dorsal de sacro y coxis y ligamento sacrotuberoso	Tuberosidad glútea Tracto ilirotibial	N. glúteo inferior	Rotación externa y extensión de la cadera
Glúteo medio	Cara externa de íleon entre las líneas glúteas anterior y posterior	Trocánter mayor del fémur	N. glúteo superior	Abducción y rotación interna cadera Estabiliza la pelvis
Glúteo menor	Cara externa del íleon, entre líneas glúteas anterior e inferior	Trocánter mayor del fémur	N. glúteo superior	Abducción de la cadera Estabiliza la pelvis
Aductor largo	Cuerpo pubis	Línea áspera fémur	N. obturador	Aducción y flexión del muslo
Aductor corto	Superficie anterior pubis	Línea áspera fémur Trocánter menor	N. obturador	Aducción de la cadera
Suelo pélvico*				

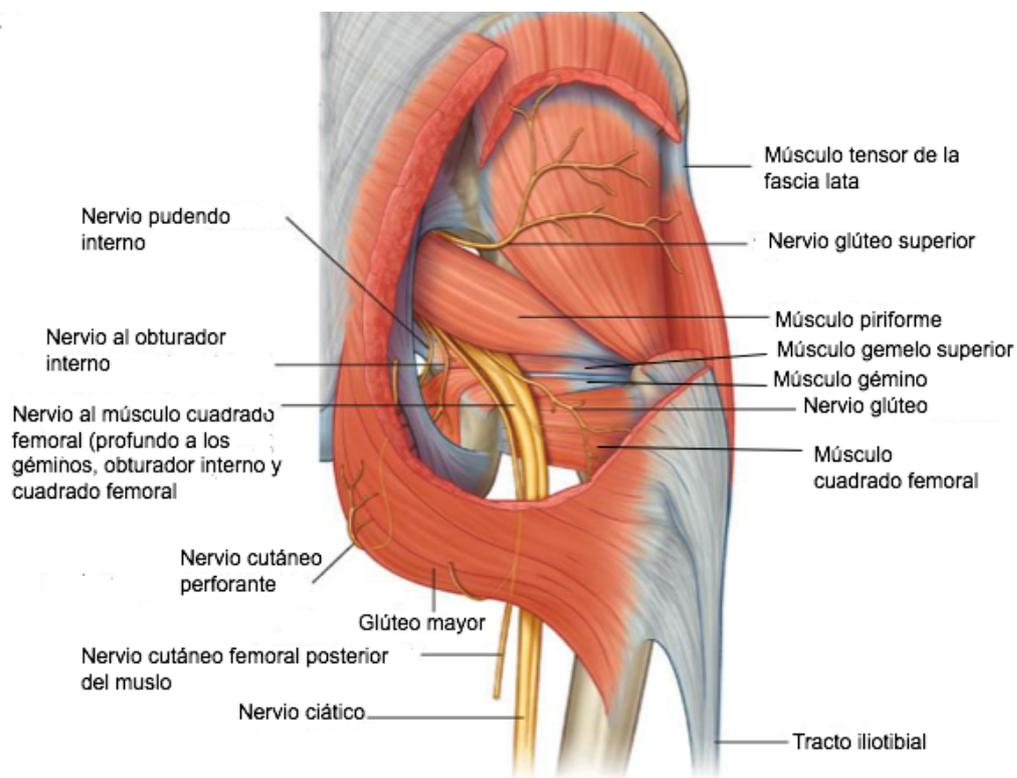


Ilustración 12. Visión posterior musculatura pélvica. Tomado de Drake et al. (154)

## 1.2.5. FASCIA TÓRACOLUMBAR

La fascia tóracolumbar procede del sacro y de los ilíacos y se inserta en la línea nocal, uniendo el tronco con las extremidades superiores e inferiores. Está formada por tres capas -anterior, media y posterior- formando 2 espacios que contienen el músculo cuadrado lumbar y el erector de la columna. El músculo oblicuo abdominal y el transversario y el ligamento sacrotuberoso están unidos a la capa profunda de la fascia tóracolumbar (166), (167).

Da inserción al músculo transversario abdominal, erector de la columna, multifidus, bíceps femoral, glúteo mayor, dorsal ancho, trapecio menor y oblicuo externo. Su unión a la columna lumbar y la pelvis son la clave para proporcionar estabilización a la articulación sacroilíaca (166), (167).

## 1.2.6. FORÁMENES DE LA PELVIS

### 1.2.6.1. FORAMEN CIÁTICO MAYOR

Se sitúa por encima del ciático menor y es cinco veces mayor que este. Es la conversión de la escotadura ciática mayor en un orificio por el ligamento sacroespinoso (153). Está limitado ánterolateralmente por la escotadura ciática mayor del ilíaco; pósteromedialmente por el ligamento sacrotuberoso; inferiormente, por el ligamento sacroespinoso y la espina isquiática; superiormente por el ligamento sacroilíaco anterior (153) (Ilustración 13, 14 y 15).

El músculo piriforme lo divide en el canal suprapiriforme y el infrapiriforme. Por el suprapiriforme discurren la arteria y venas glúteas superiores y el nervio glúteo superior (153). Por el infrapiriforme lo hacen la arteria y las venas glúteas inferiores; la arteria, vena y nervio pudendo interno; nervio ciático; nervio cutáneo posterior del muslo; nervio del gémino superior y obturador interno; nervio del gémino inferior y del cuadrado femoral (153) (Ilustración 13, 14 y 15).

### 1.2.6.2. FORAMEN CIÁTICO MENOR

Es la conversión de la escotadura ciática menor en un orificio por los ligamentos sacrotuberosos y sacroespinosos (153). Comunica la región glútea con la porción lateral de la fosa isquioanal (153). Está ocupado por los vasos y nervios pudendos y el nervio del obturador interno (153) (Ilustración 13, 14 y 15).

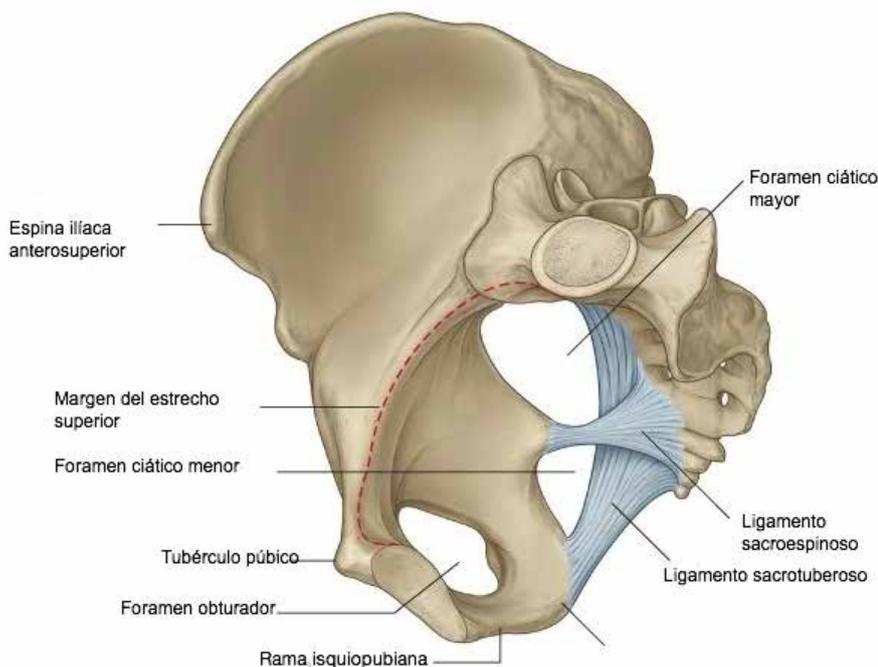


Ilustración 13. Foramen ciático mayor y menor. Tomado de Drake et al. (154)

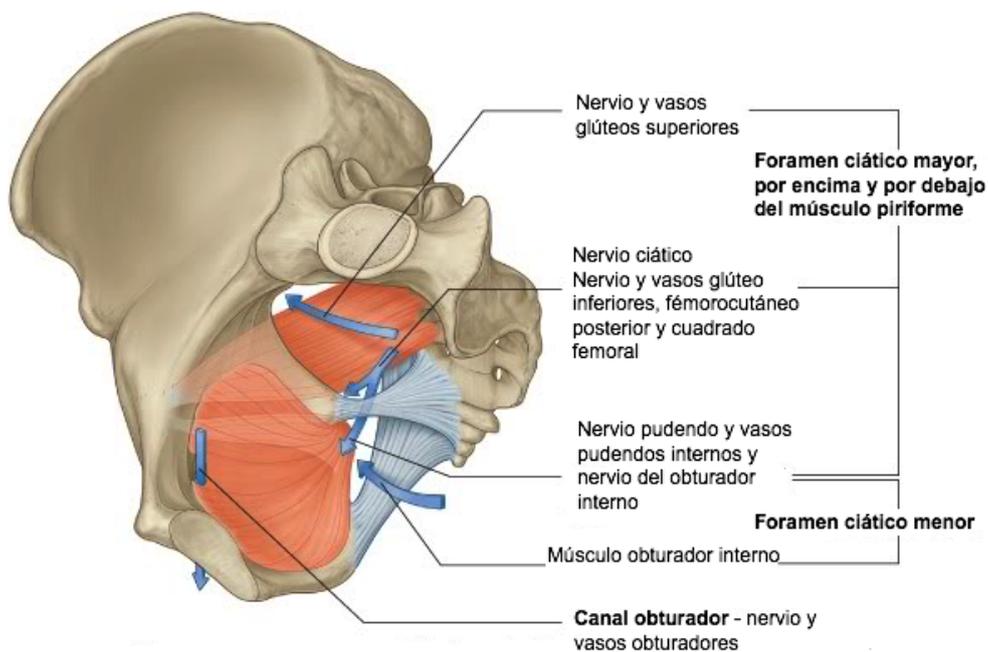


Ilustración 14. Contenido del foramen ciático mayor, menor y canal obturador. Tomado de Drake et al. (154)

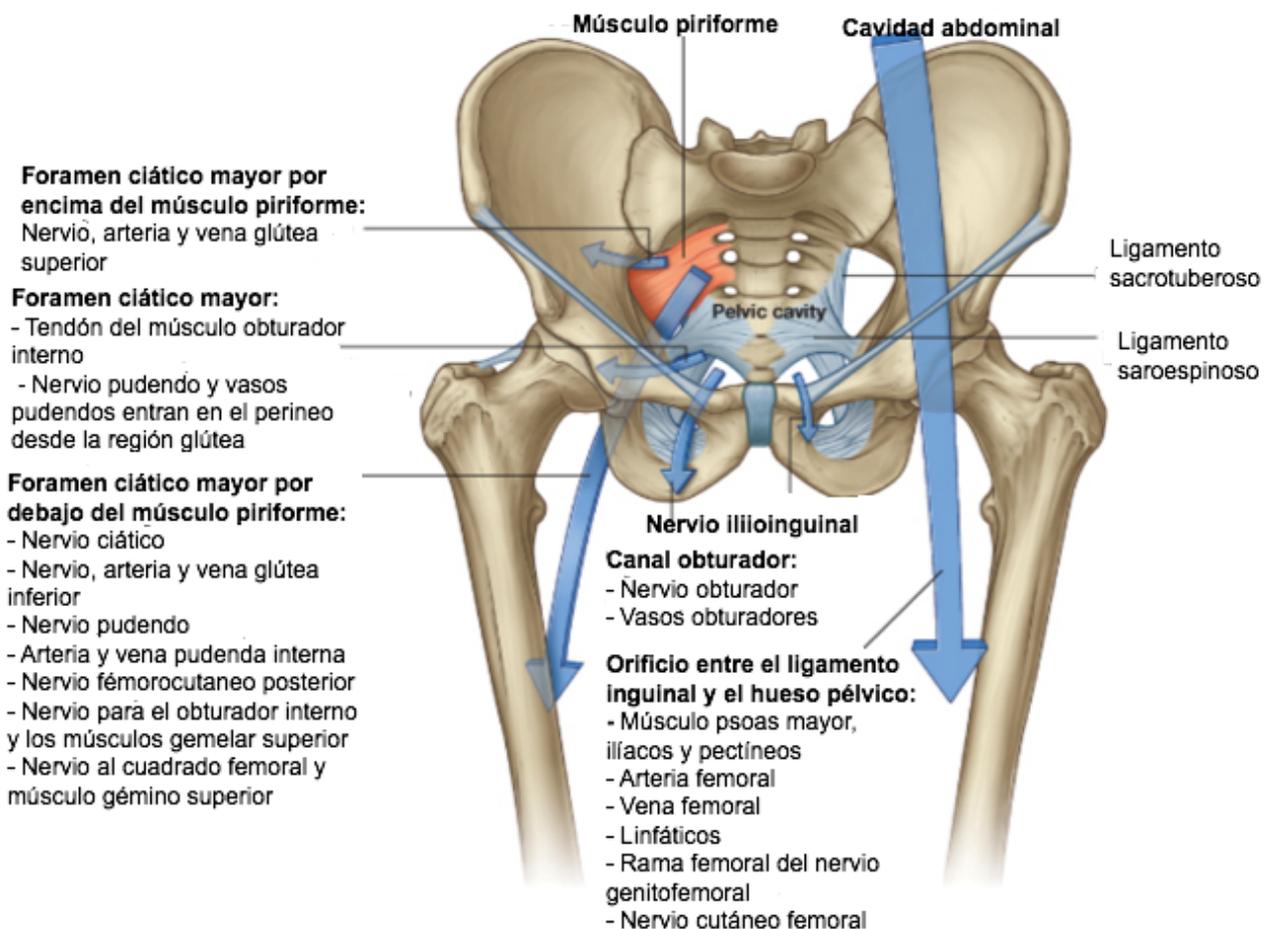


Ilustración 15. Relaciones del foramen ciático mayor, menor, canal obturador y orificio entre el ligamento inguinal y pelvis. Tomado de Drake et al. (154)

## 1.2.7. PAREDES Y SUELO DE LA CAVIDAD PÉLVICA

La cavidad pélvica está delimitada por una pared anteroinferior, dos laterales, una posterior, y una inferior (el suelo pélvico). Carece de pared superior, estando abierta a la cavidad abdominal (153).

## 1.2.7.1. PAREDES PÉLVICAS

### 1.2.7.1.1. PARED PÉLVICA ÁNTEROINFERIOR

Está formada por los cuerpos, las ramas del pubis y la sínfisis púbica. Participa en el soporte de la vejiga urinaria (153).

### 1.2.7.1.2. PAREDES PÉLVICAS LATERALES

Están formadas por los huesos coxales y están cubiertas por el músculo obturador interno (153). Sobre sus caras mediales se localizan los nervios y vasos obturadores y otras ramas de los vasos ilíacos internos (153).

### 1.2.7.1.3. PARED PÉLVICA POSTERIOR (MURO PÓSTEROLATERAL)

Está formada por el sacro, cóccix, ilion, las articulaciones sacroilíacas y los ligamentos asociados (153). Está cubierta pósterolateralmente por los músculos piriformes, en cuya cara anterior se encuentran los nervios del plexo sacro (153).

### 1.2.7.1.4. PARED PÉLVICA INFERIOR: SUELO PÉLVICO

Está formado por: el diafragma pélvico (porción superior o profundo), el urogenital (membrana perineal, porción inferior o superficial) y la fascia endopélvica (Ilustración 16).

#### 1.2.7.1.4.1. DIAFRAGMA PÉLVICO

Está formado por el músculo elevador del ano y el cóccigeo (Ilustración 16). Se suspenden como si fuera una hamaca, extendiéndose entre el pubis y el cóccix y las paredes pélvicas laterales (153). Soporta las vísceras abdominales y pélvicas y, junto al diafragma urogenital, participa en la continencia urinaria (153).

- **MÚSCULO ELEVADOR DEL ANO**

- *Haz puborrectal*: Se origina en las sínfisis púbicas, rodea al recto formando un cabestrillo en U delimitando el hiato urogenital. Algunas de estas fibras se unen al músculo esfínter anal externo y el recto, contribuyendo a mantener la continencia fecal (153).

- *Haz pubococcígeo*: Se origina lateralmente al haz puborrectal y en la sínfisis púbica y se inserta en el cóccix y en el rafe ano-cóccigeo. Tiene dos subdivisiones mediales: músculo elevador de próstata en hombre y el músculo pubovaginal en la mujer (153).

- *Haz iliococcígeo*: Se origina en los laterales de la sínfisis púbica y en el arco tendinoso del músculo elevador del ano. Las fibras musculares de un lado se unen con las del contralateral en el cóccix y con el rafe ileococcígeo (153).

Su inervación proviene del plexo sacro, ramas del nervio pudendo, perineal y recto inferior (todas ramas de S2-S5) (153).

Su función es el sostén dinámico de las vísceras abdominopélvicas y el mantenimiento de la continencia urinaria y fecal (153).

- **MÚSCULO COCCÍGEO**

Se origina en las espinas isquiáticas y los ligamentos sacroespinosos y se inserta en el margen lateral del sacro y del cóccix (153). Soporta las vísceras pélvicas. Su inervación proviene de las ramas de S4 y S5 (153).

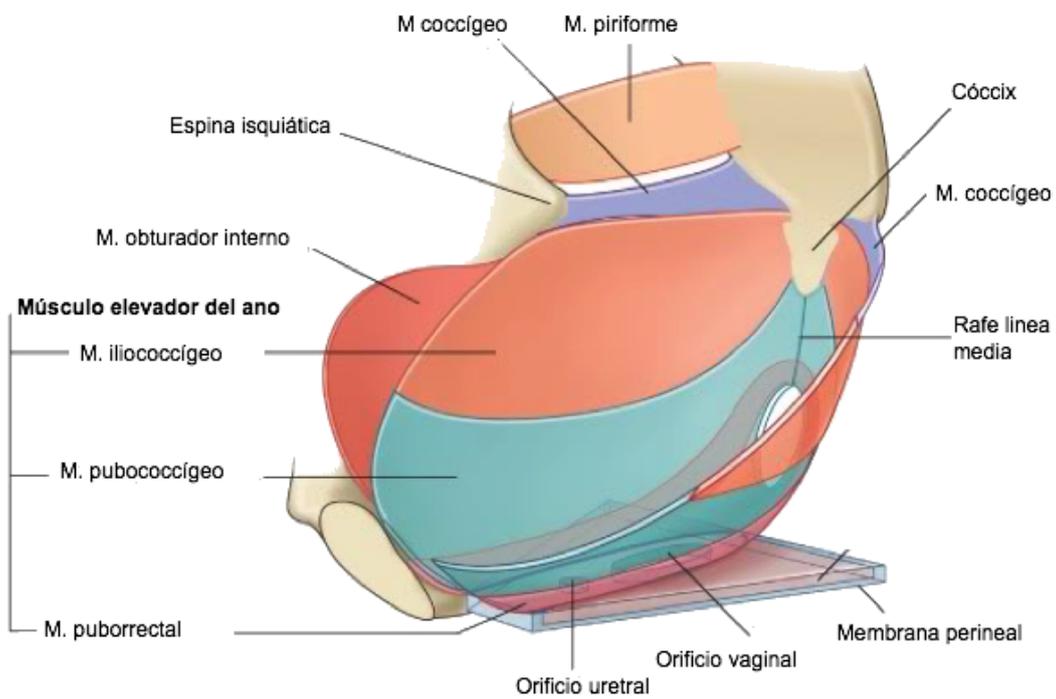
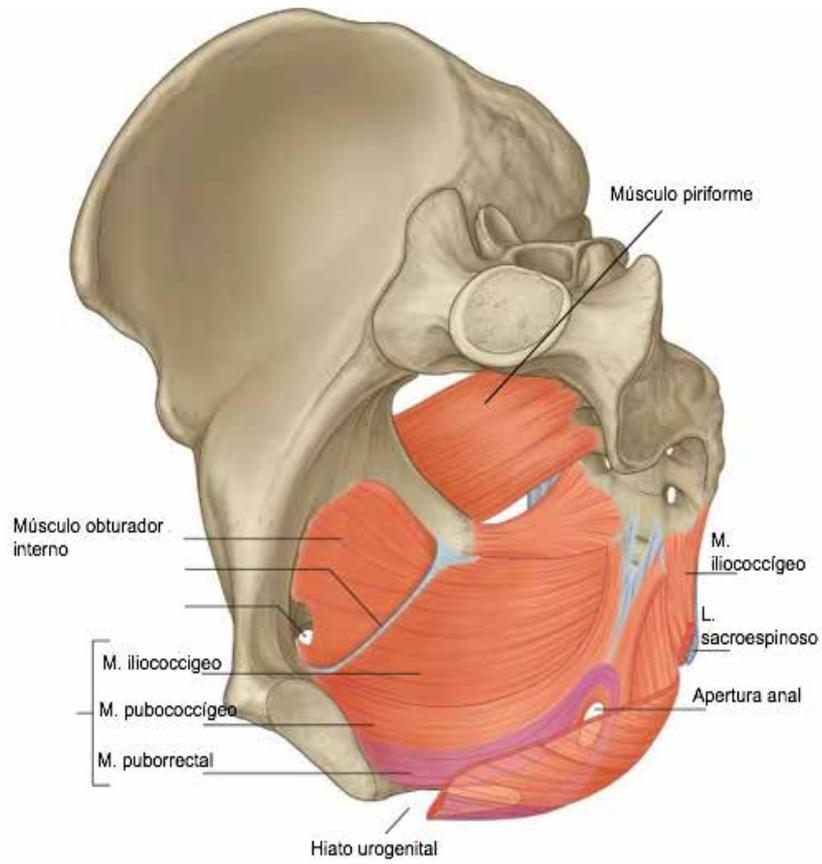


Ilustración 16. Suelo pélvico en mujer. Tomado de Drake et al. (154)

#### 1.2.7.1.4.2. DIAFRAGMA UROGENITAL (MEMBRANA PERINEAL)

Es una lámina músculo-fibrosa que ocupa el espacio libre que dejan los músculos elevadores del ano en sus bordes internos en el triángulo perineal anterior. Presenta oberturas para la vagina, uretra y vena dorsal del clítoris en mujeres y para el recto y pene en los hombres (153).

Está formado por:

- **MÚSCULOS SUPERFICIALES**

1. *Músculo transverso superficial del periné*: Se origina en la porción interna y anterior de las tuberosidades isquiáticas y en el núcleo fibroso del periné. Contribuye en la fijación del núcleo fibroso del periné, mantiene el tono del suelo y puede tener un papel en la defecación, al comprimir el conducto anal, y en la eyaculación. Está inervado por el nervio pudendo (153) (Ilustración 17 y 18).

2. *Músculo isquiocavernoso*: Se origina en el isquion y se inserta, en el hombre, en la aponeurosis que rodea el cuerpo cavernoso del pene y, en la mujer, en ambos lados y en la cara inferior de la base del cuerpo cavernoso del clítoris. Flexiona el ano y en hombres estabiliza el pene erecto y en la mujer tensiona la vagina. Está inervado por el nervio pudendo (153) (Ilustración 17 y 18).

3. *Músculo bulboesponjoso*: Se localiza en el centro del periné, frente al ano. Es inervado por el nervio perineal, rama del nervio pudendo (153) (Ilustración 17 y 18).

4. *Esfínter anal externo*: Se encuentra en la parte inferior del recto en el periné posterior. Se inserta posteriormente en el rafe anococcígeo; o anteriormente en el rafe anobulbar. Lo inerva el nervio hemorroidal. Es un constrictor del ano (153).

- **MÚSCULOS PROFUNDOS**

1. *Transverso profundo del periné*: Presenta la misma inserción que el transversos superficial del periné hasta insertarse en un rafe tendinoso. Su parte anterior rodea las paredes laterales y posterior de la uretra y se inserta en las ramas isquiopúbicas y se mezcla con el tejido parauretral y paravaginal y les ayuda a mantenerse en su sitio. Las fibras musculares estriadas que rodean a la uretra se disponen en fibras espirales que ayudan a que la uretra se puede ocluir voluntariamente con la participación de los músculos bulbocavernosos e isquiocavernosos (153).

2. *Núcleo fibroso del periné*: Formado por fibras musculares y componentes tendinosos que unen el pubis con el isquion (Ilustración 17 y 18).

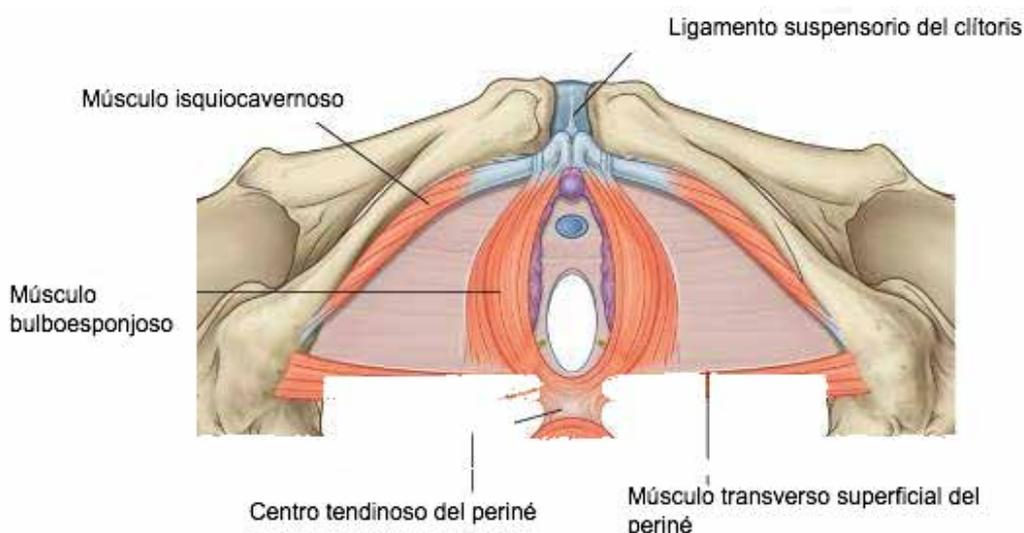


Ilustración 17. Diafragma urogenital en mujer. Tomado de Drake et al. (154)

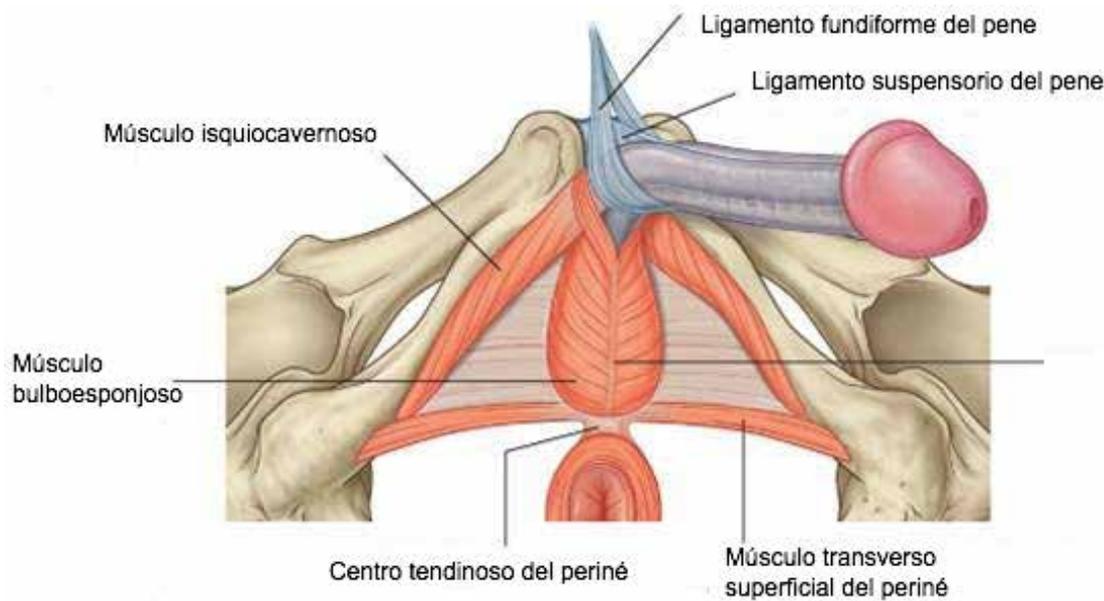


Ilustración 18. Diafragma urogenital en hombre. Tomado de Drake et al. (154)

#### 1.2.7.1.4.3. FASCIA PÉLVICA

Es un tejido conectivo situado en el espacio entre el peritoneo membranoso, las paredes musculares y el suelo de la pelvis, que no está ocupado por las vísceras pélvicas (153).

##### 1.2.7.1.4.3.1. FASCIA PÉLVICA MEMBRANOSA

La fascia pélvica parietal cubre la cara interna de la pelvis ósea y los músculos que forman las paredes y el suelo pélvico. Se continúa superiormente con las fascias transversalis e iliopsoas (153). La fascia pélvica visceral cubre los órganos pélvicos y su capa adventicia (153).

Las capas parietal y visceral se convierten en continua donde los órganos penetran en el suelo pélvico. En ese punto la fascia parietal se espesa, formando el arco tendinoso de la fascia pélvica, que va desde el pubis hasta el sacro. La parte más anterior de este arco conecta la próstata al pubis en el hombre (ligamento puboprostático) o el fondo de la vejiga en mujeres (ligamento pubovesical). La parte más posterior del arco se extiende como los ligamentos sacrogenitales. En las mujeres, la extensión lateral de la fascia visceral de la vagina con el arco tendinoso de la fascia pélvica forma el paracolpium (153).

##### 1.2.7.1.4.3.2. FASCIA ENDOPÉLVICA

La fascia endopélvica es un tejido conectivo muy variable tanto en densidad como en contenido. Forma una hamaca, encargada de suspender y estabilizar las vísceras abdominales (tracto urogenital y recto), grandes vasos y sus ramificaciones (153).

Parte de esta fascia es tejido aerolar (adiposo) que comprende zonas débiles, creando seis espacios (dos mediales y cuatro laterales) (153): espacio retropúbico o de Retzius (entre pubis y vejiga), fosas paravesicales, fosas pararrectales (con el recto en medio) y espacio retrorrectal (entre recto y sacro).

Algunas zonas de la fascia endopélvica presentan una consistencia más fibrosa alrededor de grandes vasos denominándose ligamento, siendo el cuello uterino donde está representado con mayor abundancia (ligamentos cardinales y úterosacos) (153).

La vaina hipogástrica es una banda gruesa que separa el espacio retropúbico y retrorrectal, dando paso a estructuras vásculonerviosas y proporcionan sostén. Se divide en tres láminas (ligamentos) (153): el ligamento lateral de la vejiga, que transporta las arterias y venas vestales superiores; el ligamento lateral del recto, que transporta la arteria y vena rectal media, y la lámina media, que en el hombre forma la fascia retroprostática o tabique rectovesical y en la mujer discurre medialmente al cuello del útero y la vagina como el ligamento cardinal.

## 1.2.8. PERITONEO Y CAVIDAD PERITONEAL DE LA PELVIS

El peritoneo parietal que recubre la cavidad abdominal se extiende inferiormente en la cavidad pélvica, reflejándose en las vísceras y la fascia pélvica, pero sin alcanzar el suelo pélvico (153).

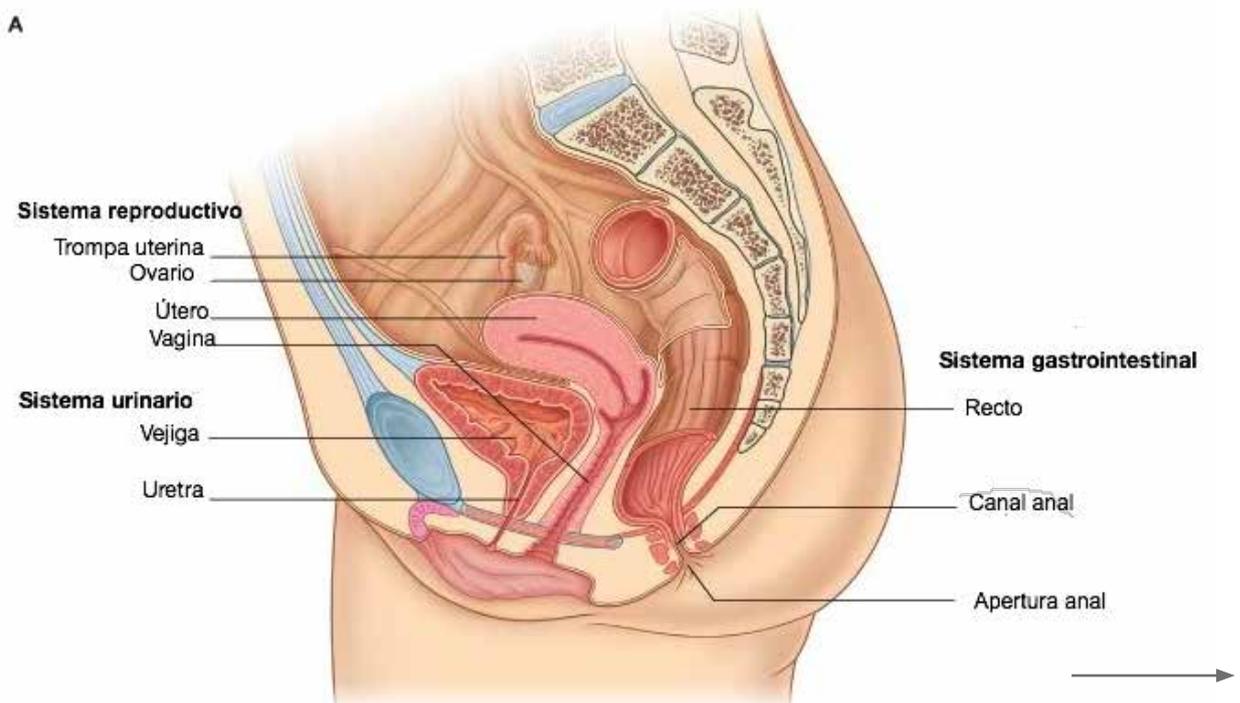
En las mujeres, se refleja en la pared anterior del útero en el istmo; sin relacionarse con el fondo de saco vaginal anterior, que es subperitoneal (153). El peritoneo cubre el fondo del útero, descendiendo por su cara posterior, la pared posterior de la vagina antes de reflejarse sobre la pared anterior de la ampolla rectal (153). Entre el útero y el recto se encuentra el fondo de saco recto-uterino (Douglas), más extenso e inferior en las mujeres. Cuando el peritoneo cubre la parte superior del útero se forma un pliegue peritoneal doble entre el útero y la pared pélvica lateral a cada lado, el ligamento ancho del útero, separando la fosa paravesical y la pararrectal de cada lado. Los ligamentos anchos contienen las trompas uterinas, ovarios, los ligamentos de los ovarios y los ligamentos redondos del útero (153).

En los hombres, el peritoneo desciende por la superficie posterior de la vejiga, y luego se refleja sobre la superficie anterior del recto inferior, formando la bolsa rectovesical (153). El peritoneo forma el pliegue ureteral, sobre el uréter y el conducto deferente a cada lado de la vejiga posterior separando la fosa paravesical y la pararrectal (153). Posteriormente a los pliegues ureterales y lateral a la bolsa rectovesical, el peritoneo desciende y cubre los extremos superiores o superficies posteriores de las glándulas seminales y ampollas de los conductos deferentes. Salvo en estas localizaciones (y el testículo en su túnica vaginal, que deriva del peritoneo), los órganos reproductores masculinos no están en contacto con el peritoneo (153).

En ambos sexos, en la zona superior de la vejiga se crea la fosa supravesical. El tercio inferior del recto se encuentra por debajo de los límites inferiores del peritoneo (es decir, es subperitoneal), el tercio medio está cubierto con peritoneo solo en su superficie anterior, y el tercio superior está cubierto en su superficie anterior y lateral (153). La unión rectosigmoidea, cerca del borde de la pelvis, es intraperitoneal (153).

## 1.2.9. ÓRGANOS DE LA CAVIDAD PÉLVICA

La cavidad pélvica contiene la parte terminal de los uréteres, la vejiga urinaria, el recto y el sistema reproductivo. Además de estas vísceras pélvicas, también contiene la continuación de vísceras abdominales: asas del intestino delgado (ilion principalmente) y, con frecuencia, el intestino grueso (apéndice y colon transversal y/o sigmoideo) (Ilustración 19 A y B).



B

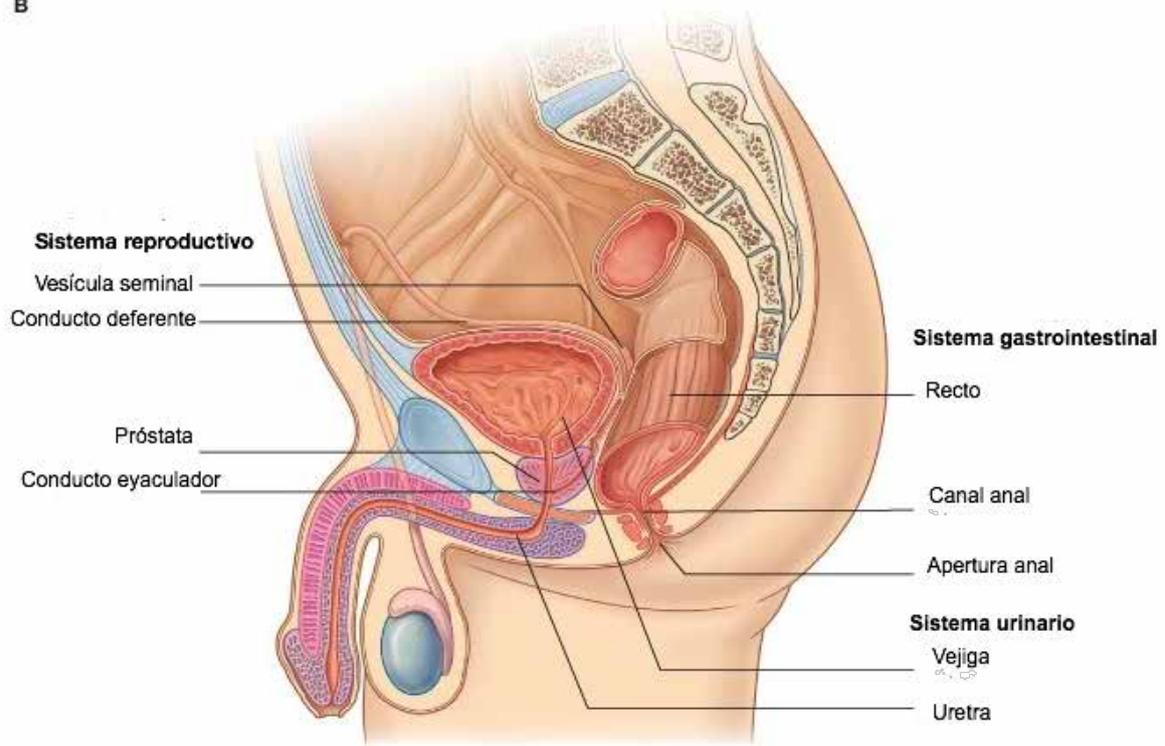


Ilustración 19. Órganos pélvicos femeninos (A) y masculinos (B). Tomado de Drake et al. (154)

El recto se encuentra directamente ventral al sacro separado de este por la fascia de Waldeyer, que proporciona una sólida barrera anatómica para la extensión del tumor (Ilustración 20).

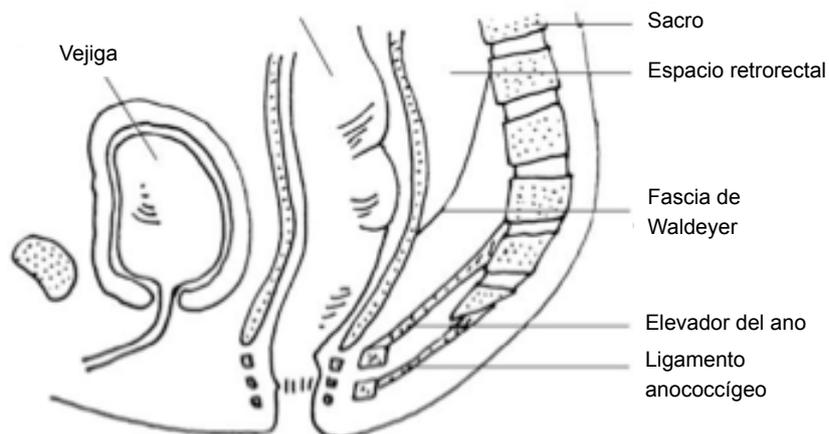


Ilustración 20. Límites del espacio retrorectal. Tomado de Aranda-Narváez et al. (168)

## 1.2.10. ANATOMIA VASCULAR

### 1.2.10.1. SISTEMA ARTERIAL

#### 1.2.10.1.1. AORTA ABDOMINAL

La aorta abdominal, a la altura de L4, se bifurca en las arterias ilíacas comunes (izquierda y derecha) y en la arteria sacra media (169).

#### 1.2.10.1.2. ARTERIAS ILÍACAS COMUNES

La arteria ilíaca común derecha es un poco más larga (5 cm) que la izquierda (4 cm). Se dirigen íferolateralmente a lo largo del borde medial de los músculos psoas, hacia la articulación sacroilíaca. A nivel del disco L5-S1 cada una se bifurca en la arteria ilíaca interna y externa (153) (Ilustración 21).

Anteriormente se relacionan con el plexo hipogástrico superior, el uréter izquierdo y la raíz del mesocolon sigmoideo (arteria ilíaca común izquierda), el uréter derecho (arteria ilíaca externa derecha) y la arteria ovárica en las mujeres. Lateralmente, se relacionan con el músculo psoas mayor y el nervio génitofemoral. Posteriormente, se relacionan con la cara lateral de L5, los vasos iliolumbares, el nervio obturador, el tronco lumbosacro, el tronco simpático lumbar. Subperitonealmente se relacionan con las venas ilíacas comunes. Medialmente se relacionan con la arteria sacra media y el plexo hipogástrico superior (153).

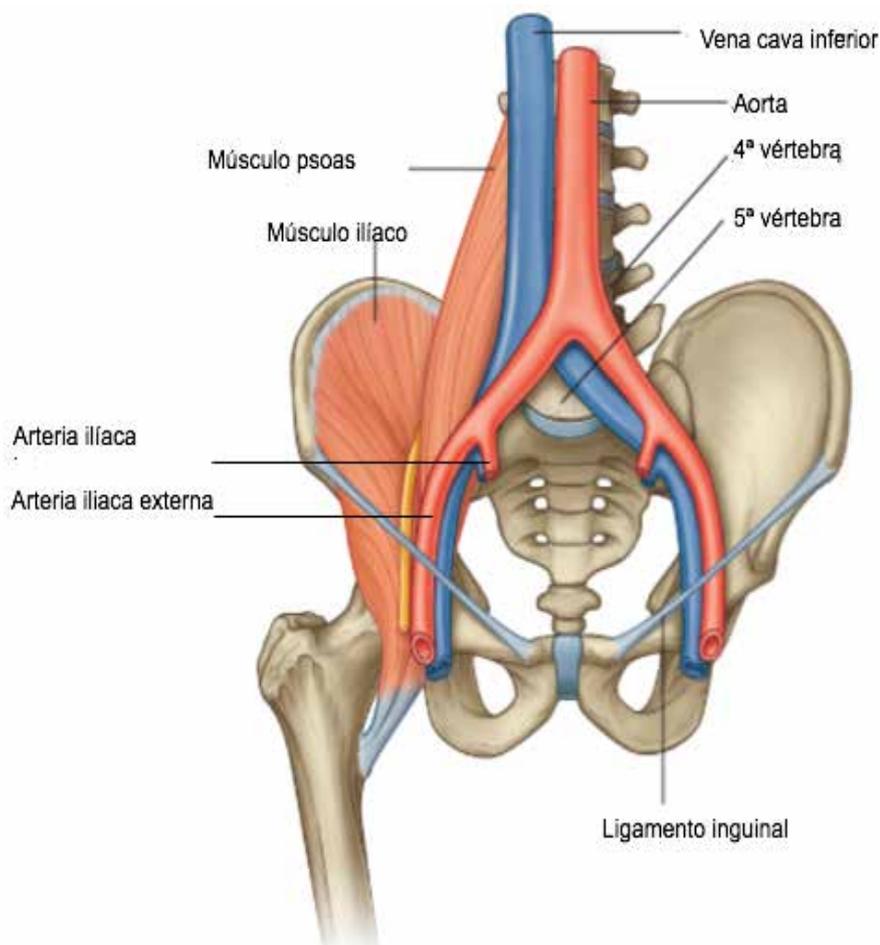


Ilustración 21. Bifurcación de la arteria aorta abdominal. Tomado de Drake et al. (154)

### 1.2.10.1.3. ARTERIA SACRA MEDIA

Desde su origen, pasa inferiormente sobre la línea media del sacro hasta el cóccix y termina en el paraganglio de Luschka, formando el órgano vasculoso de Luschka. Da ramas parietales que se anastomosan con las arterias sacras laterales y ramas viscerales para el recto que se anastomosan con las rectales superior y media (153).

### 1.2.10.1.4. ARTERIA ILÍACA INTERNA

Se origina en la bifurcación de la arteria ilíaca común, a nivel del disco L5-S1, por delante de la articulación sacroilíaca. Desciende hasta el borde superior del foramen sacrociático mayor y se divide en un tronco anterior y uno posterior (153).

Se relaciona anteriormente con el uréter y en la mujer con el ovario y el extremo fimbriado de la trompa uterina (153). Posteriormente, con la vena ilíaca interna, el tronco lumbosacro y la articulación sacroilíaca. Lateralmente, con el músculo psoas mayor, la vena ilíaca externa y el nervio obturador. Medialmente se encuentra el peritoneo parietal, que la separa del íleon terminal a la derecha y el colon sigmoideo a la izquierda y tributarias de la vena ilíaca interna (153).

Es la principal arteria de la pelvis, e irriga sobre todo las vísceras pélvicas, la cara posterior de la pared abdominal y la pared pélvica. También suministra ramas a la región glútea, la región aductora del muslo y el periné.

### 1.2.10.1.5. BIFURCACIÓN DE LA ARTERIA ILÍACA INTERNA

La bifurcación de la arteria ilíaca se produce cerca de su origen en la arteria ilíaca común. La división posterior da 3 ramas parietales y la anterior, 3 parietales y 3 viscerales (153) (Ilustración 22 y 23).

### 1.2.10.1.6. RAMAS TERMINALES DE LA DIVISIÓN POSTERIOR DE LA ARTERIA ILÍACA INTERNA

Habitualmente las 3 ramas parietales se originan de la división posterior de la arteria ilíaca interna.

#### **1. Arteria iliolumbar.**

Es la primera rama de la arteria ilíaca interna. Se sitúa detrás del nervio obturador. Discurre en dirección superior y lateral de forma recurrente, pasando por delante de la articulación sacroilíaca hacia la fosa ilíaca. Discurre profundamente al músculo psoas e irriga el músculo ilíaco y otros tejidos de la fosa ilíaca (153). Dentro de la fosa, se divide en una rama ilíaca que irriga los músculos psoas mayor y cuadrado lumbar y el hueso ilíaco (153).

#### **2. Arteria glútea superior.**

Es la mayor rama de la arteria ilíaca interna. Discurre entre el tronco lumbosacro y la rama anterior de S1 en el borde superior del músculo piriforme (153). Atraviesa el foramen ciático mayor junto al nervio glúteo superior, donde es muy vulnerable a la laceración o a la avulsión. La rama superficial de la arteria glútea superior irriga la mitad superior del glúteo mayor. La rama profunda se localiza entre el glúteo medio y menor irrigándolos (153). Las ramas superficiales y profundas presentan extensas anastomosis con otros vasos regionales, entre ellos la arteria glútea inferior, circunfleja medial y circunfleja femoral lateral, entre otros (153).

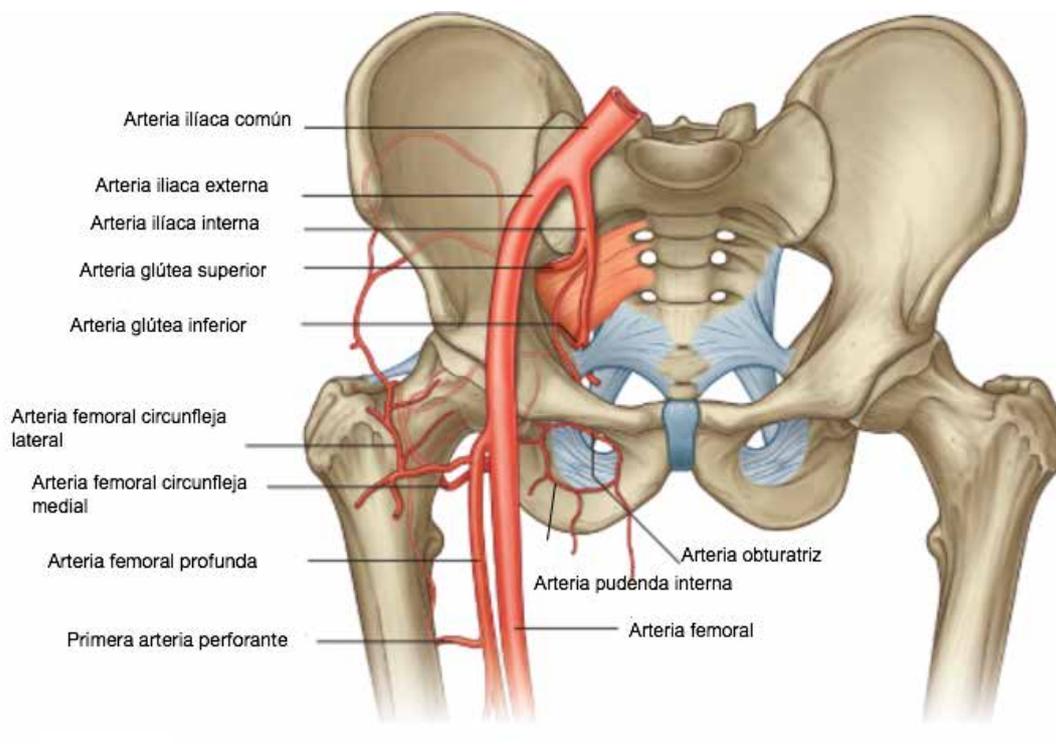
### 3. Arteria sacra lateral.

Es la segunda rama de la arteria ilíaca interna, a pesar de que puede originarse de la arteria glútea superior. Presenta de 1-3 arterias sacras laterales. Discurren sobre la superficie lateral y anterior del sacro, por delante del plexo sacro, tomando un curso paramediano en la parte superior del músculo piriforme y en estrecha relación con los forámenes sacros anteriores, emitiendo ramas hacia los mismos irrigando las meninges espinales y las raíces de los nervios sacros (153). La vascularización de la mayoría de tumores del sacro o del espacio presacro, así como algunas masas intraespinales, depende parcialmente de las arterias sacras medial y lateral (153).

#### 1.2.10.1.7. RAMAS TERMINALES DE LA DIVISIÓN ANTERIOR DE LA ARTERIA ILÍACA INTERNA

Las ramas viscerales son: umbilical, uterina, vesical inferior y rectal media.

Las ramas parietales: obturatriz, pudenda interna, pudenda accesoria, glútea inferior, vesical inferior, rectal media, umbilical, uterina y vaginal.



*Ilustración 22. Ramas extraparietales de la arteria ilíaca interna. Tomado de Drake et al. (154)*

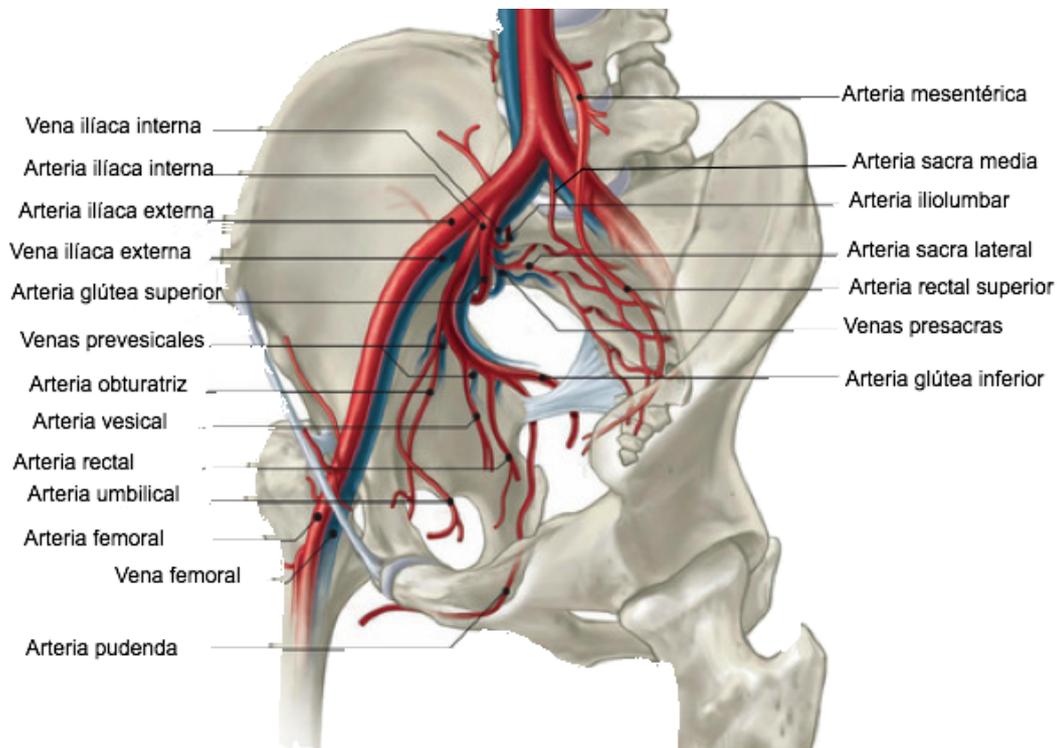


Ilustración 23. Sistema arterial y venoso en pelvis. Tomado de Drake et al. (154)

## 1.2.10.2. SISTEMA VENOSO

Generalmente, la anatomía venosa de la región es paralela a la arterial, pero con mayor variabilidad (Ilustración 23).

### 1. Vena cava, vena ilíaca común derecha e izquierda

La vena cava se localiza a la derecha de la aorta. Su bifurcación en las venas ilíacas comunes se produce mayormente a nivel de L5, en el disco L5-S1 S1 (169), (170). La vena ilíaca común derecha se sitúa posteriormente a la arteria ilíaca común, por tanto, es más corta que la izquierda. Cada vena ilíaca interna drena en la ilíaca común ipsilateral, y esta en la vena cava inferior.

### 2. Drenaje de sacro, cóccix y vísceras pélvicas

El drenaje venoso del sacro, del cóccix y de las vísceras pélvicas generalmente fluye en dirección opuesta a la irrigación arterial y drena a las venas ilíacas internas. No obstante, existen algunas venas intrapélvicas que no drenan a la ilíaca interna: la vena ovárica derecha (en la vena cava inferior), la ovárica izquierda (en la renal izquierda), la sacra media (en la ilíaca común) y la rectal superior (en la vena mesentérica inferior) (153).

Las venas vesicales, uterinas, vaginales y rectales se originan de la unión de los vasos que nutren el tejido conectivo más superficial de los respectivos órganos. En los hombres un plexo prostático rodea la próstata y la parte más inferior de la vejiga que drena en la vena vesical inferior. En las mujeres un plexo útero-vaginal drena en las venas uterinas. En ambos sexos existe un plexo venoso que rodea la parte más alta de la vejiga y otro que drena en venas rectales. La anastomosis entre las venas rectales superiores, inferiores y medias forman una importante anastomosis porto-cava (153).

Las venas glúteas superior e inferior emergen a través de la apertura suprapiriforme e infrapiriforme del foramen ciático mayor y forman la vena ilíaca interna. La vena pudenda interna emerge a través del foramen ciático mayor y se une a la glútea inferior o a la ilíaca interna (153).

## 1.2.11. ANATOMÍA NERVIOSA

### 1.2.11.1. SACO TECAL Y FILUM TERMINALE

El saco tecal finaliza a nivel de S2. Las raíces sacras bajas y coccígeas emergen del saco, como una porción extradural del filum terminale. Este se extiende hasta fusionarse con el periostio del primer segmento coccígeo.

### 1.2.11.2. PLEXO LUMBAR

El plexo lumbar está formado por la unión de los ramos anteriores de los nervios L1 a L4. Se encuentra en la parte posterior del músculo psoas mayor, por delante de las apófisis transversas lumbares (153) (Ilustración 24). Sus ramas son:

1. **Nervio iliohipogástrico e ilioinguinal (T12 y L1):** Perfora los músculos transversos del abdomen y atraviesa los músculos oblicuos internos y externos inervando la piel de las regiones suprapúbica e inguinal y proporcionan inervación a la musculatura abdominal (153).
2. **Nervio génitofemoral (L1 y L2):** Perfora la superficie anterior del músculo psoas mayor y discurre inferiormente; se divide por fuera de las arterias ilíacas comunes y las externas en las ramas femoral y genital (153).
3. **Nervio cutáneo femoral lateral (L2 y L3):** Discurre íferolateralmente sobre el músculo ilíaco y penetra en el muslo por detrás del ligamento inguinal; inerva la piel de la cara ánterolateral del muslo (153).
4. **Nervio obturador (L1-L4).**

### 1.2.11.3. PLEXO SACRO

El plexo sacro se localiza en la superficie anterior del músculo piriforme. Está formado por el tronco lumbosacro y las fibras de la división anterior de los nervios sacros (S1-S4). Abandona la pelvis por el foramen ciático mayor, salvo los nervios del músculo piriforme, los nervios cutáneos perforantes y los del diafragma pélvico (153).

El tronco lumbosacro está formado por la unión de las ramas anteriores de L4 y L5 sobre el borde medial del psoas. Desciende para participar en la formación del plexo sacro junto con los ramos anteriores de los nervios S1-S4 en la superficie anterior de la articulación sacroilíaca a nivel del foramen de S2 (171) (Ilustración 24, 25 y 26).

Sus ramas son:

1. **Nervio glúteo superior (L4-S1) e inferior (L5-S2):** Son las dos ramas proximales del plexo sacro, atraviesan el foramen ciático mayor lateralmente al plexo con el nervio ciático, por encima del músculo piriforme. El glúteo superior inerva el músculo glúteo medio y menor y al tensor de la fascia lata. El glúteo inferior inerva el glúteo mayor (153).
2. **Nervio ciático (L4, L5, S1-S3):** Está formado por los ramos anteriores de los nervios L4-S3 que convergen en la superficie anterior del piriforme. Atraviesan el foramen ciático mayor por debajo del piriforme para finalizar en la región glútea. Inerva la cara posterior del miembro inferior (153).
3. **Nervio pudendo (S2-S4):** Deriva de los ramos anteriores de los nervios S2-S4. Abandona la pelvis con la arteria pudenda interna, a través del foramen ciático mayor entre los músculos piriforme y coxígeo. Después rodea la espina ciática y el ligamento sacroespinoso y penetra en el periné a través del foramen ciático menor. Inerva la piel y los músculos del periné incluyendo el esfínter anal externo y da sensibilidad a los genitales externos (153) (Ilustración 27).

4. Nervio del cuadrado femoral (L4-S1)
5. Nervio obturador interno (L5-S2)
6. Nervio del músculo piriforme (S2, y eventualmente S1)
7. Nervio cutáneo femoral posterior (S2-S3)
8. Nervio cutáneo perforante (S2-S3)

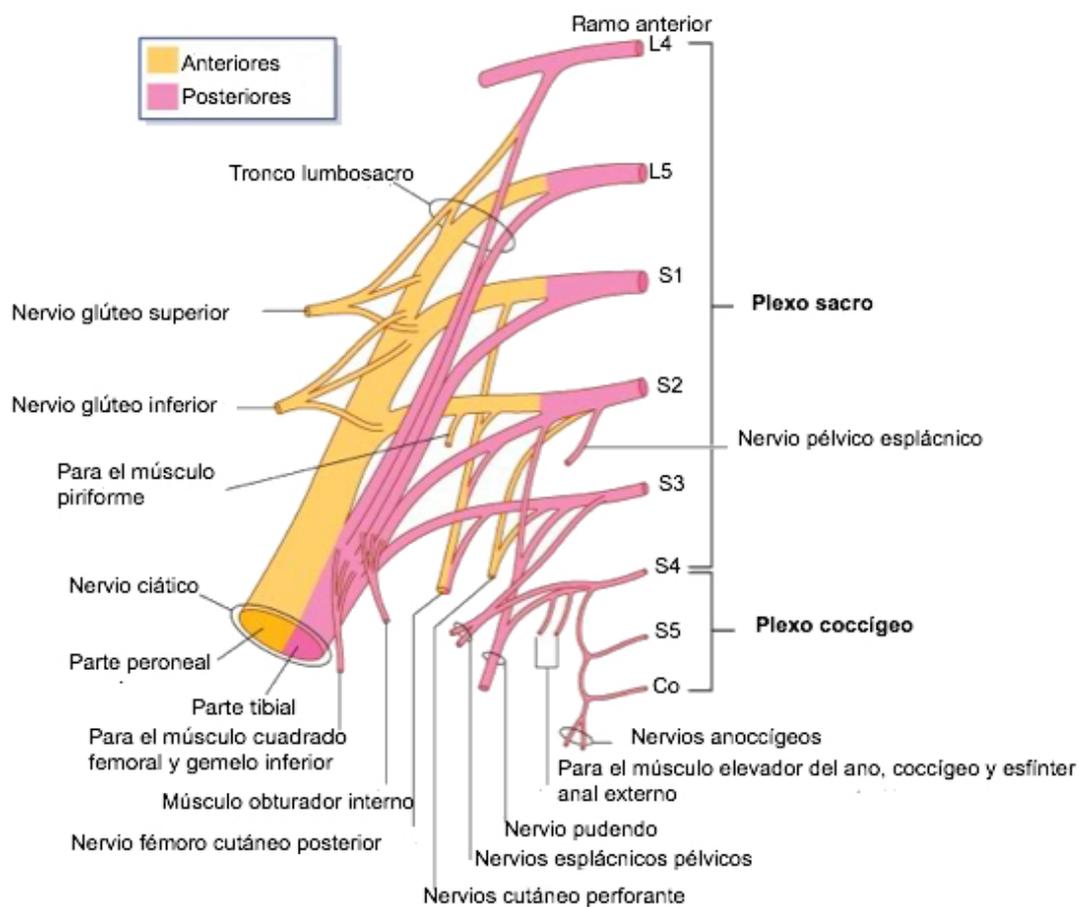


Ilustración 24. Plexo lumbar y sacro. Tomado de Drake et al. (154)

## 1.2.11.4. PLEXO COCCÍGEO

Está formado por los ramos anteriores de S4 y S5 y los nervios coxígeos. Se sitúa en la superficie pélvica del músculo coxígeo, elevador del ano y la articulación sacrocoxígea (Ilustración 25).

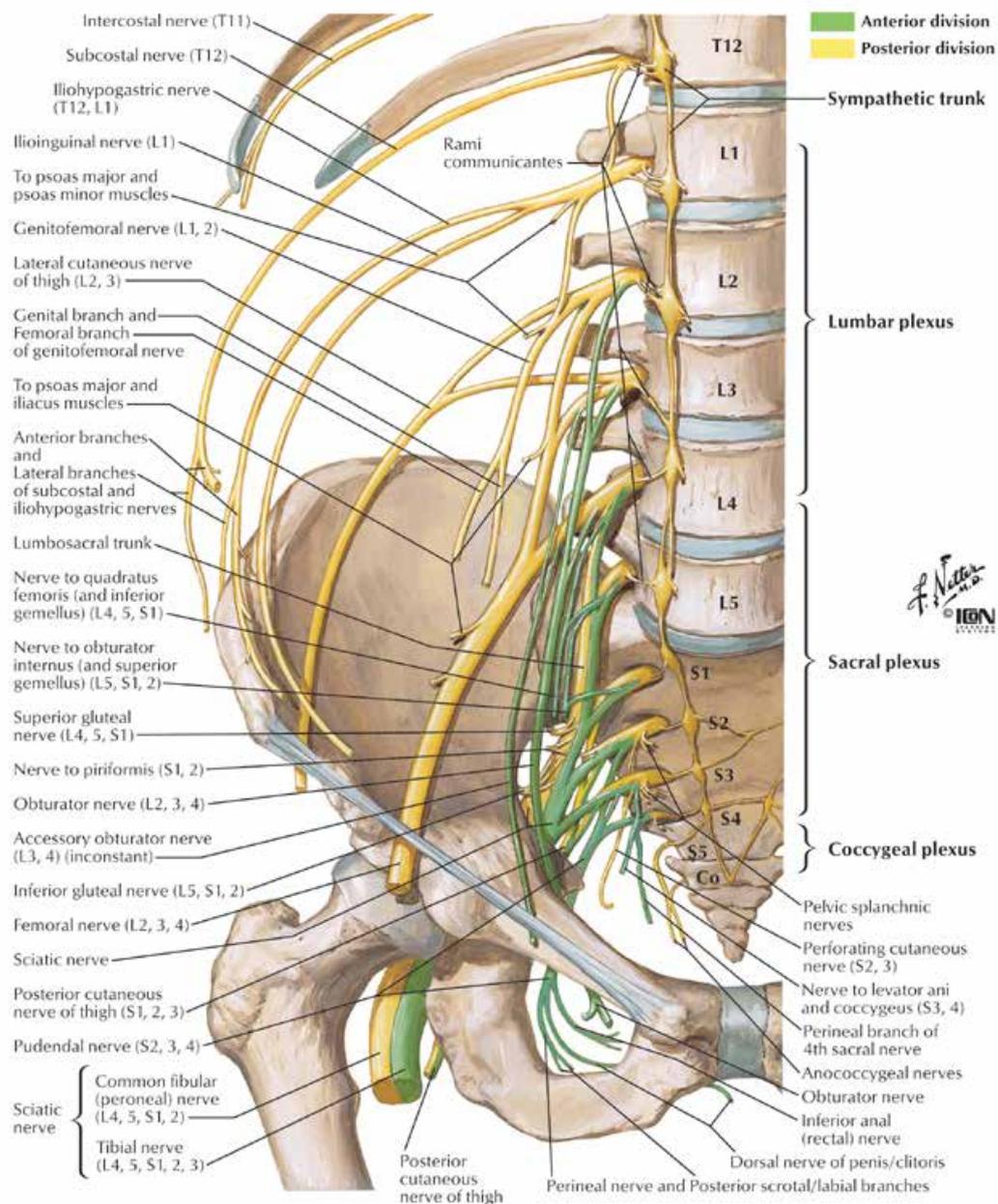


Ilustración 25. Plexo lumbar, sacro y coccígeo

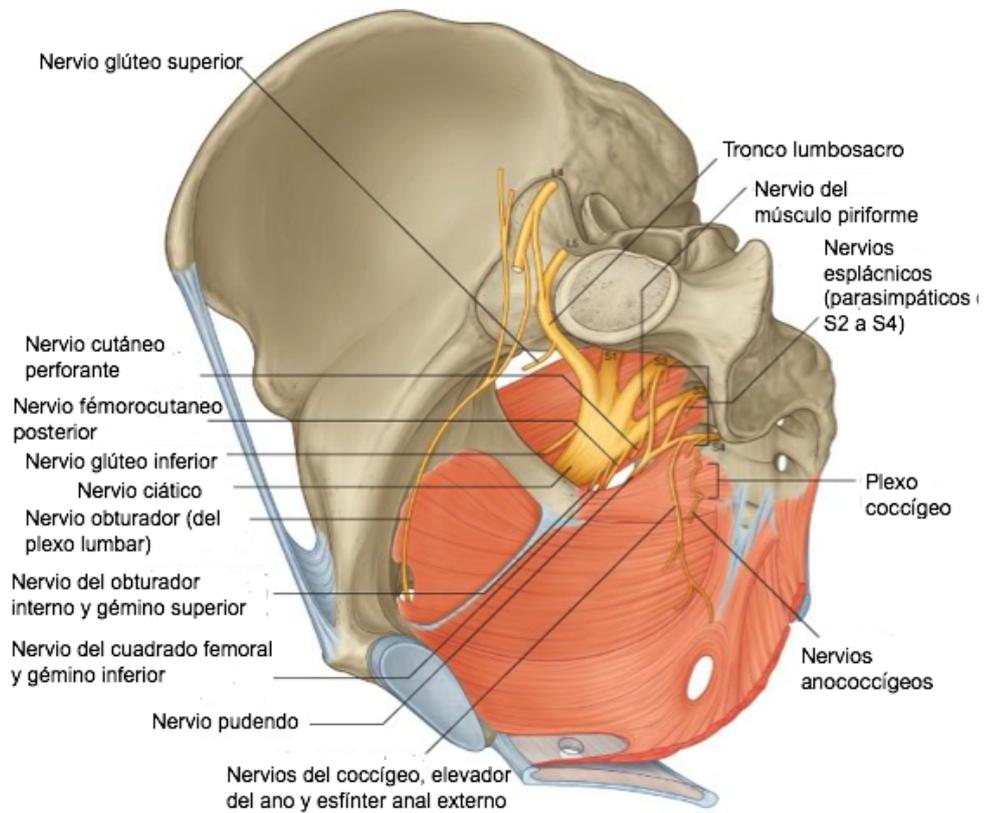


Ilustración 26. Tronco lumbosacro. Tomado de Drake et al. (154)

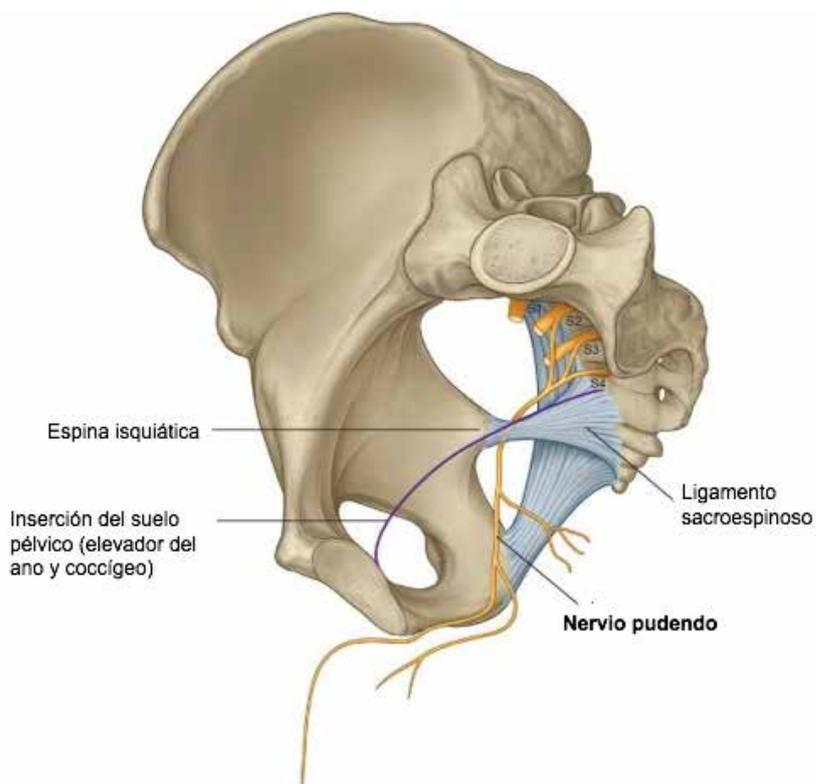


Ilustración 27. Nervio pudendo. Tomado de Drake et al. (154)

## 1.2.11.5. SISTEMA NERVIOSO AUTÓNOMO PÉLVICO.

Los nervios simpáticos y parasimpáticos penetran en la cavidad pélvica mediante las siguientes estructuras (158):

**1. Troncos simpáticos sacros:** Son la continuación inferior de los troncos simpáticos lumbares. Descienden sobre la superficie anterior del sacro y convergen formando el ganglio impar o coxígeo por delante del cóccix. En su trayecto posterior al recto da ramas comunicantes a cada rama anterior de los nervios sacros y coxígeos, a la arteria sacra media y al plexo hipogástrico inferior. Su principal función es proporcionar la inervación simpática a los miembros inferiores (158) (Ilustración 28).

**2. Plexos periarteriales de las arterias ováricas, rectales superiores e ilíacas internas**

**3. Plexos hipogástricos (superior e inferior)** (Ilustración 28)

- El *plexo hipogástrico superior* (*plexo hipogástrico o nervio presacro*) es una prolongación del plexo intermesentérico. Se sitúa entre las ilíacas comunes, por debajo de la bifurcación de la aorta, por delante de L5 y del promontorio sacro. Desciende lateralmente al plexo aórtico y de los nervios espláncnicos lumbares. A nivel de S1-S2, sus fibras divergen inferior y lateralmente al recto, dentro de las vainas hipogástricas, y se expanden en forma de abanico a medida que se unen con los nervios espláncnicos pélvicos para formar los plexos hipogástricos inferiores (158).

- Los *plexos hipogástricos inferiores* (*plexo pélvico*) contienen fibras simpáticas y parasimpáticas acompañando a la arteria hipogástrica. En las vísceras pélvicas forman subplexos que en conjunto reciben el nombre de plexos pélvicos, que se asocian con las caras laterales del recto y las superficies íferolaterales de la vejiga. Además, en el hombre, también lo hacen con la próstata y las glándulas seminales; y en las mujeres, con el cuello del útero y el fómex (158).

**4. Nervios espláncnicos pélvicos:** Surgen de las ramas anteriores de S2-S4 del plexo sacro. Dan la inervación parasimpática a las vísceras pélvicas y al colon descendente y sigmoideo (158) (Ilustración 28 y 29).

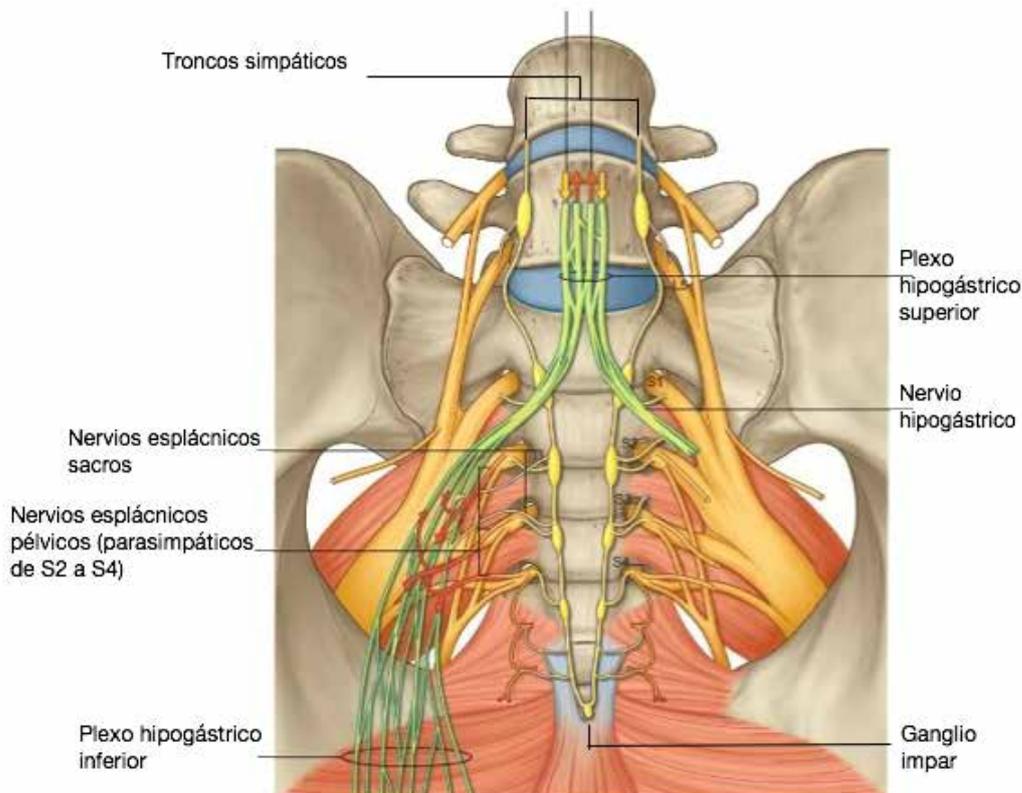


Ilustración 28. Tronco simpático de la pelvis. Tomado de Drake et al. (154)

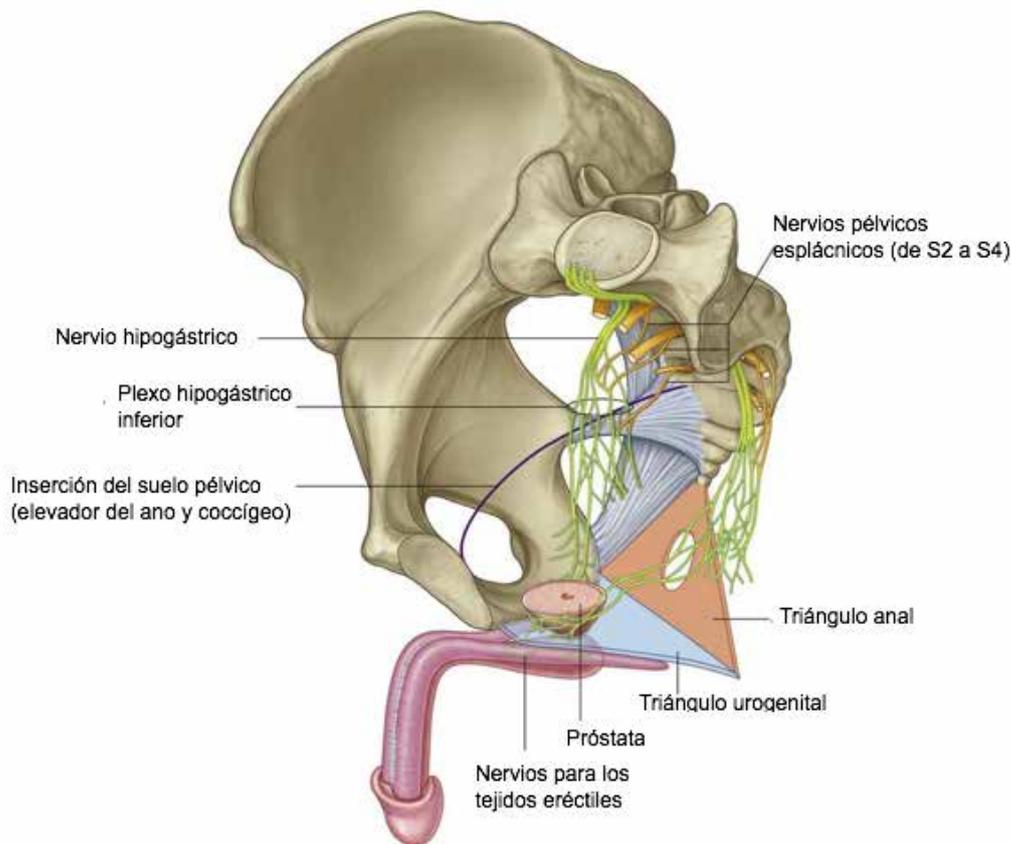


Ilustración 29. Nervios esplácnicos de los niveles S2 a S4 que controlan la erección. Tomado de Drake et al. (154)

### 1.2.12. GANGLIOS LINFÁTICOS DE PERINÉ Y PELVIS

Los principales grupos de ganglios linfáticos son denominados por los vasos con los que se asocian:

1. **Ganglios linfáticos ilíacos externos:** Se localizan a lo largo de los vasos ilíacos externos. Principalmente reciben la linfa de los ganglios linfáticos inguinales, pero también de las vísceras de la pelvis (153)
2. **Ganglios linfáticos ilíacos internos:** Se agrupan alrededor de la arteria ilíaca interna y de las glúteas. Reciben drenaje de las vísceras inferiores de la pelvis, periné profundo y región glútea. Drenan en los ganglios ilíacos comunes y en los externos (153).
3. **Ganglios linfáticos sacros:** Se encuentran junto a los vasos sacros medios. Reciben la linfa de las vísceras pósteroinferiores de la pelvis y drenan en los ganglios ilíacos comunes y en los internos (153).
4. **Ganglios linfáticos ilíacos comunes:** Se relacionan con los vasos ilíacos comunes y reciben drenaje de los tres grupos mencionados anteriormente (153).  
Los ganglios linfáticos de la piel y del tejido subcutáneo del periné y pelvis drenan en los ganglios inguinales. Las estructuras profundas del periné dan vasos linfáticos que siguen los vasos pudendos internos hacia los ganglios ilíacos internos (153).

## 1.3. BIOMECÁNICA DE LA CINTURA PÉLVICA Y DE LAS ARTICULACIONES SACROILÍACAS

### 1.3.1. CINTURA PÉLVICA

La cintura pélvica es un elemento clave en la transferencia de cargas desde el tronco a las extremidades inferiores. Distribuye y absorbe las fuerzas de compresión.

Biomecánicamente funciona como un anillo que puede ser valorado como una cadena de movimiento formada por el sacro y los 2 coxales unidos por 2 articulaciones sacroilíacas y la lumbosacra. Su parte posterior se asemeja a una estructura en bóveda cuya clave de arco es la primera vértebra sacra, que soporta la carga del cuerpo, y cuyos pilares laterales son los acetábulos. A nivel anterior es estabilizado por la sínfisis púbica y a nivel posterior por las articulaciones sacroilíacas.

### 1.3.2. DISTRIBUCIÓN DE CARGAS

Durante la bipedestación estática, el peso que soporta L5 (P) se reparte en dos partes iguales hacia las alas sacras, posteriormente a través de las espinas ciáticas, se dirige hacia los acetábulos y hacia el cuello del fémur (158). A este nivel recibe la resistencia ascendente del suelo (R) hasta la parte superior del cotilo, dividiéndose la fuerza recibida en dos: una que se dirige a la articulación sacroilíaca y la otra a la rama iliopubiana y se encuentra con la fuerza ascendente opuesta a nivel de la sínfisis púbica, que equilibrará las diferencias de apoyo que raramente son simétricas. El conjunto de estas fuerzas constituye un anillo completo representado por el estrecho superior (Ilustración 30) (158), (172).



Ilustración 30. Distribución de cargas en el anillo pélvico en bipedestación. Tomado de Kapandji et al. (172)

El sacro, por su ubicación, tiene un papel fundamental en la estabilidad del anillo pélvico. Su descenso está limitado por su forma de cuña y la irregularidad de las superficies de las articulaciones sacroilíacas. Cada ala iliaca puede considerarse como un brazo de palanca (Ilustración 31) cuyos puntos de apoyo (O1 y O2) se sitúan en las articulaciones sacroilíacas y cuya potencia y resistencia se localizan en las extremidades inferiores. La separación de los coxales es frenada posteriormente por los ligamentos sacroilíacos (L1 y L2) y anteriormente por la sínfisis púbica, que realiza una fuerza de aproximación S1 y S2 (172). En la carga vertical del sacro los ligamentos sacroilíacos interóseos se contraen aproximando la parte posterior de los ilíacos, comprimiendo el sacro entre ellos, y además limitan el descenso de la parte superior del sacro como consecuencia de la carga vertical (172).

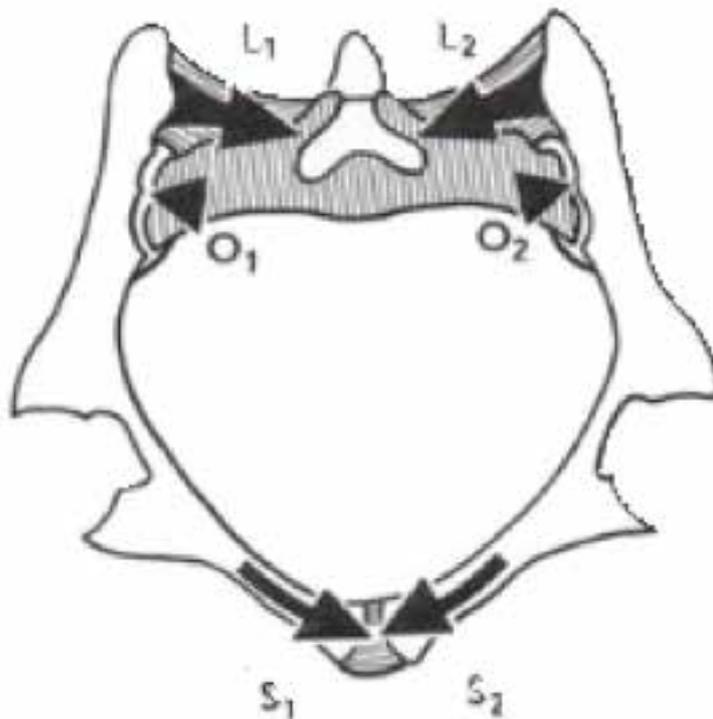


Ilustración 31. Fuerzas de compresión en anillo pélvico. Tomado de Kapandji et al. (172)

### 1.3.3. MOVILIDAD DE LA ARTICULACIÓN SACROILÍACA

La articulación sacroilíaca estabiliza la unión entre la columna vertebral, pelvis y miembros inferiores, absorbe las fuerzas verticales desde la columna y las transmite a miembros inferiores y viceversa y permite una pequeña movilidad entre sacro e ilion (173). La amplitud total de los movimientos de la articulación sacroilíaca se estima entre 1°-4° de rotación y menos de 3 mm de traslación (174), (175), (176).

#### 1.3.3.1. MOVIMIENTOS DEL SACRO, LOS ILÍACOS Y LA PELVIS

##### 1.3.3.1.1. MOVIMIENTOS DEL SACRO SOBRE EL ILÍACO

###### 1.3.3.1.1.1. NUTACIÓN Y CONTRANUTACION

Durante la nutación (Ilustración 32 A y B), el sacro gira alrededor de un eje transversal que pasa por S2, coincidiendo anatómicamente con el ligamento axial (representado por la cruz negra), de forma que el promontorio se desplaza hacia abajo y hacia delante (S2), y el ápex del sacro y del cóccix se desplazan posteriormente (d2) (172). Por tanto, el diámetro anteroposterior del estrecho superior disminuye su longitud, mientras que el del estrecho inferior aumenta. Simultáneamente, las alas ilíacas se aproximan y las tuberosidades isquiáticas se separan (Ilustración 32 A) (172), (177).

La nutación del sacro se produce en situaciones de carga, como la transferencia de decúbito a sedestación y en bipedestación, durante el parto y la deambulación. En la fase de balanceo con la pierna en el aire se produce la nutación y con la pierna apoyada la contranutación (177).

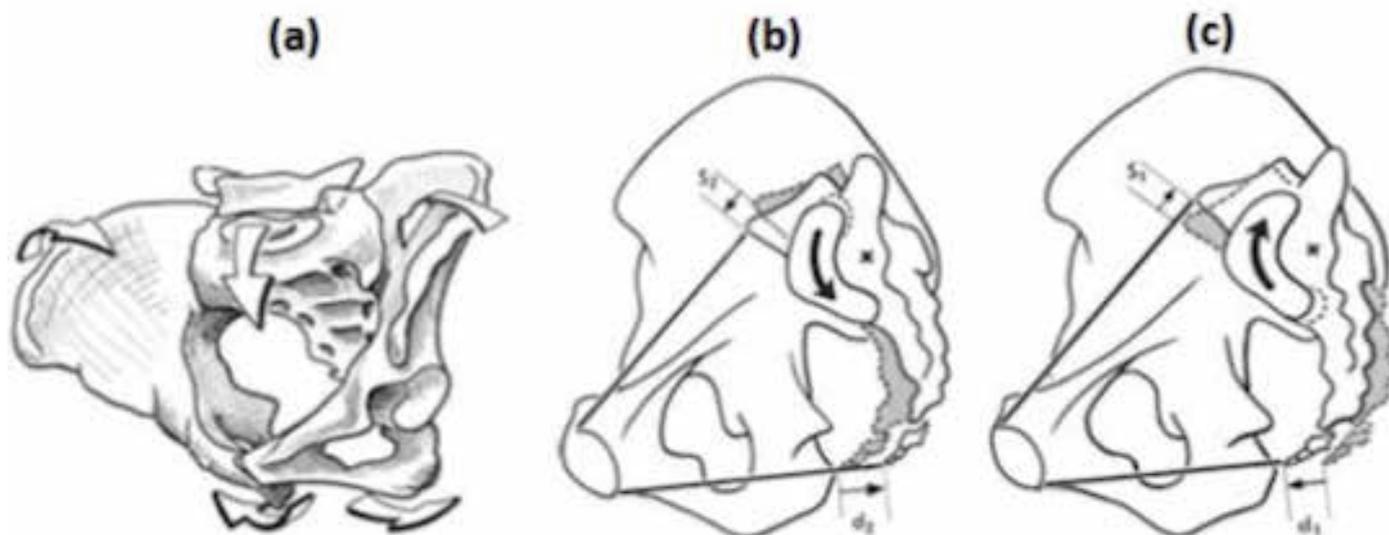


Ilustración 32. Movimiento de nutación (a) y (b) y contranutación (c). Tomado de Kapandji (1972)

La contranutación es el movimiento inverso a la nutación. El sacro gira alrededor del ligamento axial, de forma que el promontorio se desplaza hacia arriba y hacia atrás (S1) y el ápex del sacro y del cóccix se desplazan hacia abajo y hacia delante (d1). El diámetro anteroposterior del estrecho superior aumenta en su longitud (S1), mientras que el del estrecho inferior disminuye (d1) (172). Además, las alas ilíacas se separan y las tuberosidades isquiáticas se aproximan (172). Ver la Ilustración 31 C.

#### 1.3.3.1.1.2. FLEXIÓN LATERAL DERECHA E IZQUIERDA

Se producen alrededor del eje sagital, y en el ápex del sacro. Durante la flexión lateral a la derecha, la base del sacro se desplaza en sentido caudal, y el ápex en sentido craneal (172). Cuando el lado derecho se mueve en sentido ventral, el lado izquierdo se mueve en sentido dorsal (172).

#### 1.3.3.1.2. MOVIMIENTOS DEL ILÍACO SOBRE EL SACRO

##### 1.3.3.1.2.1. ROTACIÓN ANTERIOR Y POSTERIOR DEL ILÍACO

Se producen sobre un eje transverso-inferior que pasa por la tercera vértebra sacra a la altura del extremo inferior del brazo largo auricular y la espina ilíaca pósteroinferior (172).

##### A. ROTACIÓN ANTERIOR

En la rotación anterior el ala ilíaca bascula hacia delante: la espina ilíaca anterosuperior desciende anteriormente, la tuberosidad isquiática se eleva hacia atrás y la rama púbica desciende (Ilustración 33). El brazo corto del ilíaco se mueve hacia abajo y adelante y el brazo largo hacia atrás y hacia abajo. Las espinas ilíacas anterosuperiores se desplazan hacia delante, abajo y adentro, produciendo la separación de las alas ilíacas. El isquion se desplaza hacia atrás, arriba. Conjuntamente se produce un descenso de la sínfisis púbica (172).

Está limitada por la tensión de la sínfisis púbica, el tono de los músculos recto mayor del abdomen e isquiotibiales y la tensión de los ligamentos sacroilíacos (172).

## B. ROTACIÓN POSTERIOR

El ilion gira hacia atrás, la espina ilíaca pósterosuperior desciende posteriormente, la espina ilíaca ánterosuperior y la rama del pubis se elevan (Ilustración 33). El brazo largo del ilíaco se desplaza hacia arriba y delante, el brazo corto asciende por atrás y arriba. La espina ilíaca pósterosuperior se desplaza posterior e inferiormente. Las alas del ilíaco se separan de la línea media y los isquiones se acercan. Conjuntamente la sínfisis se desplaza superiormente (172).

Está limitada por la tensión de la sínfisis púbica, el tono de los músculos dorsal ancho y los espinales lumbares, y el plano ligamentoso anterior (172).

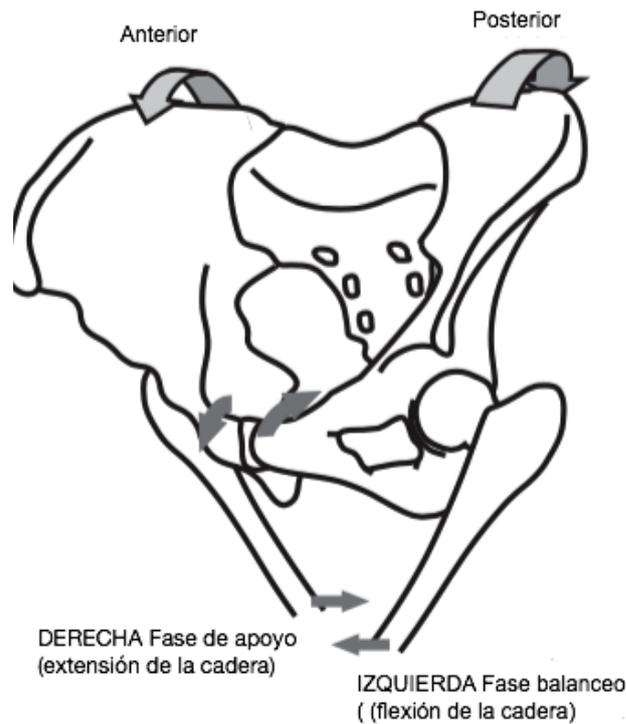


Ilustración 33. Rotación anterior y posterior. Tomado de Schamberger et al. (178)

### 1.3.3.1.2.2. ROTACIÓN INTERNA Y EXTERNA DEL ILÍACO

Se producen alrededor de un eje oblicuo.

#### A. ROTACIÓN INTERNA DEL ILÍACO (CIERRA DE LAS ALAS ILÍACAS)

En el movimiento de rotación interna del ilíaco se produce un cierre del ala ilíaca, la espina ilíaca ánterosuperior se desplaza lateralmente hacia la línea media anterior, las espinas ilíacas pósterosuperiores se separan de la línea media anterior, alejándose de la apófisis espinosa de S2. Se produce también un desplazamiento de la sínfisis púbica homolateral al lado contrario y apertura de la parte posterior de la articulación aumentando la tensión ligamentosa posterior (172).

#### B. ROTACIÓN EXTERNA DEL ILÍACO (APERTURA DE LAS ALAS ILÍACAS)

Los ilíacos se separan a nivel del isquion. Se produce respecto al eje vertical lateral. Se produce desplazamiento de la sínfisis homolateral hacia el mismo lado. Este movimiento está limitado por la tensión de los ligamentos sacrociáticos (172).

### 1.3.3.1.3. TORSIÓN PÉLVICA

La torsión anterior y posterior se produce sobre ejes oblicuos que pasan desde el extremo superior de la articulación sacroilíaca de un lado al extremo inferior de la contralateral (Ilustración 34). Es el movimiento asociado de rotación anterior de un lado y de rotación posterior del lado contrario; el movimiento fisiológico se produce durante la marcha y se combina con los de rotación interna y externa (172).

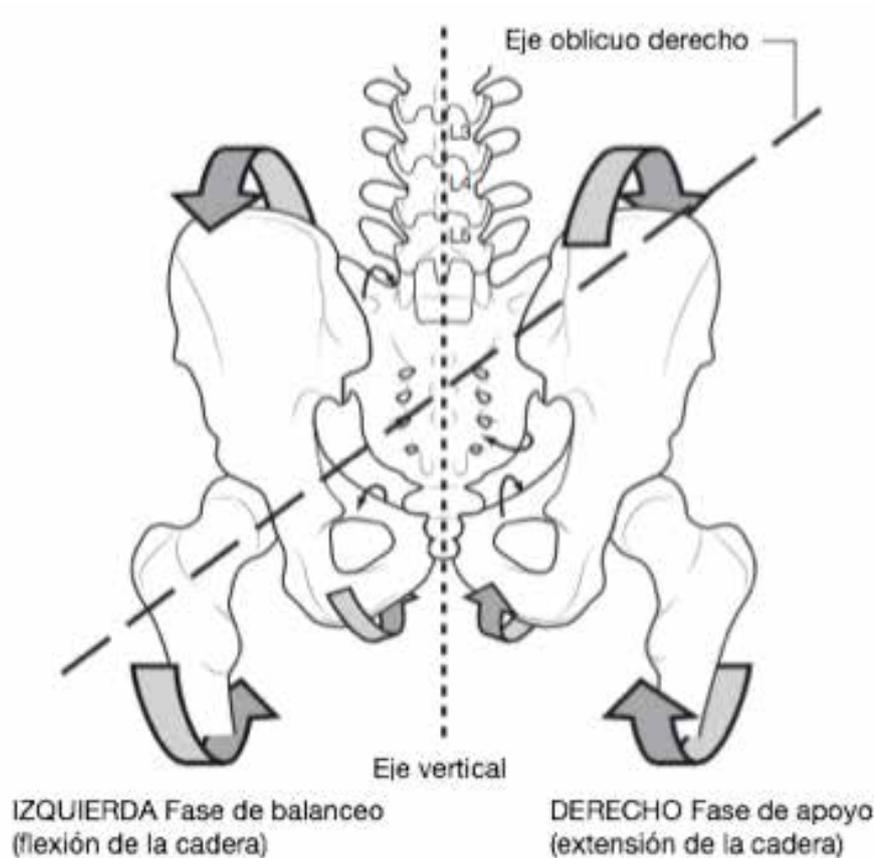


Ilustración 34. Torsión pélvica. Tomado de Schamberger et al. (178)

### 1.3.3.1.4. REPERCUSIÓN DE MOVIMIENTOS DEL ALA ILÍACA SOBRE EL MIEMBRO INFERIOR

Los movimientos de las alas ilíacas repercuten sobre los miembros inferiores a través de las articulaciones coxofemorales y al contrario.

La aducción de la cadera provoca una rotación anterior, descenso y aproximación del ala ilíaca (172). La abducción de la cadera provoca una rotación posterior, ascenso y separación del ala ilíaca. La extensión y la rotación externa de la cadera son responsables de una rotación anterior del ilion por la tensión de los ligamentos iliofemorales anteriores (172). La flexión y la rotación interna de la cadera producen una rotación posterior del ala ilíaca por la tensión del plano ligamentoso iliofemoral posterior (172).

### 1.3.3.2. ARTICULACIÓN LUMBOSACRA

La articulación lumbosacra es un punto inestable en la columna lumbar. Representa la transición de un segmento lumbar muy móvil a uno más rígido en el que el sacro y la pelvis funcionan como una unidad. El sacro se sitúa en un plano oblicuo de  $45^\circ$  inferior y anteriormente, generando una tensión de cizalla entre L5 y S1, que aumenta con la inclinación del sacro. En bipedestación, el ángulo lumbosacro es de  $30^\circ$ - $50^\circ$ . Su aumento incrementará las tensiones en la articulación lumbosacra y en la columna lumbar y aumentará la lordosis lumbar.

La articulación lumbosacra se localiza por delante de la articulación sacroilíaca. En bipedestación el peso de la columna es transmitido como un vector de fuerza axial que se localiza anteriormente a la articulación sacroilíaca causando una rotación anterior del sacro a nivel de la misma (179). El eje de esta rotación pasa a través del centro del segundo segmento sacro (Ilustración 35).

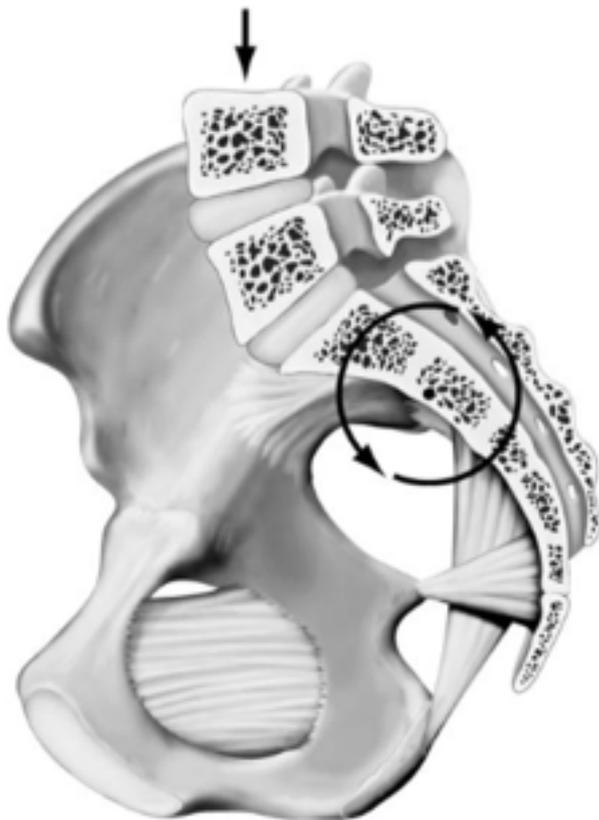


Ilustración 35. Eje de rotación de la articulación sacroilíaca. Tomado de Zhang et al. (180)

Presenta movimientos de flexión, extensión y flexión lateral. En la mecánica vertebral neutra y en ausencia de disfunción, el raquis lumbar y el sacro se mueven en direcciones opuestas. Cuando el sacro realiza nutación, la columna lumbar se extiende y en contranutación se flexiona. Con la inclinación derecha y la rotación izquierda del sacro entre los ilíacos, el raquis lumbar se adapta inclinándose a la izquierda y girando a la derecha y viceversa. El acoplamiento lumbosacro puede tener lugar en L4-L5 en vez de en L5-S1, dependiendo de la localización de los segmentos lumbares inferiores respecto a los ilíacos (181).

El disco intervertebral es el elemento básico en los movimientos de rotación y lateralización, mientras que las apófisis articulares y sus ligamentos junto con los ligamentos intervertebrales permiten y facilitan la flexión lateral, limitando la flexo-extensión (172). Los ligamentos sacroilíacos interóseos resisten la inclinación anterior de la parte superior del sacro. Los iliolumbares evitan la migración hacia delante de la vértebra L5 sobre el sacro y la flexo-extensión y la flexión lateral de la articulación lumbosacra. Los ligamentos sacroespinosos y sacrotuberosos crean un brazo largo de palanca a través del cual resisten la rotación sacra y mantienen la posición lumbosacra (179). De esta forma, los ligamentos trasladan los vectores mecánicos que ejercen sobre la pelvis los grandes grupos musculares pelvi-troncales, siendo los principales protagonistas de la movilidad lumbosacra.

### 1.3.3.3. MOVILIDAD DE LA SÍNFISIS PÚBLICA

La función de la sínfisis púbica es amortiguar las rotaciones anteriores y posteriores de los ilíacos que arrastran con su movimiento a las ramas y los tubérculos púbicos. Asimismo, amortigua las asimetrías de apoyo que llegan hasta el pubis a través de las tensiones musculares (182).

### 1.3.4. ESTABILIDAD DE LA ARTICULACIÓN SACROILÍACA

#### 1.3.4.1. GENERALIDADES

Las articulaciones sacroilíacas están sometidas a movimientos de cizallamiento. En su estabilidad se puede aplicar el principio de un arco romano de piedras que descansan sobre columnas (183). El sacro está incrustado en forma de cuña o triángulo invertido entre los ilíacos siendo la piedra angular del arco, autobloqueándose. De forma que cuanto más peso se aplica sobre él más sujeto se encuentra entre los ilíacos. Como en el arco romano las columnas no pueden moverse independientemente, las fuerzas de reacción en una dirección casi longitudinal de cada una de las columnas y las fuerzas de compresión que se producen contra la piedra angular (sacro) evitan los movimientos de cizallamiento a las que se someten las articulaciones sacroilíacas. Para garantizar su estabilidad se precisa de una morfología adecuada (cierre de forma) y de un soporte muscular y ligamentoso que comprima la articulación sacroilíaca (fuerza de cierre) (Ilustración 36) (183), (184).

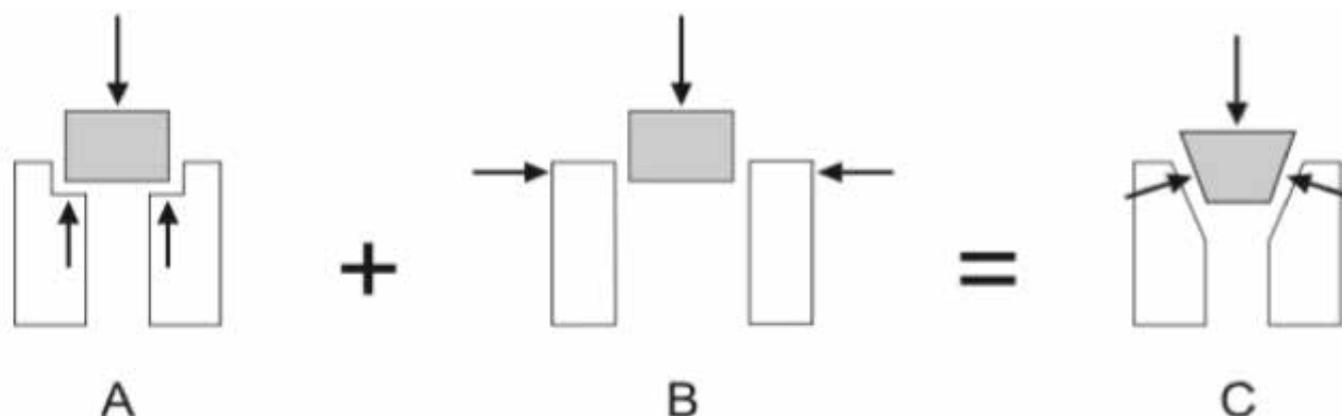


Ilustración 36. Cierre de forma (A), fuerza de cierre (B) y mecanismo de autobloqueo (C). Tomado de Snijders et al. (185)

#### 1.3.4.2. SISTEMAS DE BLOQUEO

##### 1.3.4.2.1. CIERRE DE FORMA

El cierre de forma describe la estabilidad de la articulación sacroilíaca por las siguientes características de la pelvis anatómica (183), (184):

- 1. Forma y disposición del sacro:** La forma trapezoidal del sacro y su disposición en forma de cuña entre los ilíacos da estabilidad en el plano ánteroposterior (183), (184).
- 2. Irregularidad y orientación de las superficies articulares:** La superficie articular sacra está formada por S1, S2 y S3, de modo que cada parte se orienta en un plano vertical diferente. Junto con su orientación en semiluna, contrarrestan la traslación vertical y ánteroposterior evitando la luxación (183), (184).
- 3. La integridad de los ligamentos:**
  - Ligamentos interóseos y sacroilíacos dorsales cortos: Su tensión aumenta durante la nutación

incrementando la fricción de las superficies articulares, incrementando su estabilidad (184), (186).

- Ligamentos sacrotuberosos (Ilustración 37 A): Su tensión estabiliza las articulaciones sacroilíacas durante la nutación (184), (186) mediante su unión con diferentes músculos: cabeza larga del músculo bíceps femoral (184), (186), el glúteo mayor y el piriforme (184) y la fascia tóracolumbar (184).

- Ligamentos sacroilíacos dorsales largos (Ilustración 37 B): Limitan la contranutación (187). Su tensión puede incrementarse durante el aumento de tensión del ligamento sacrotuberoso ipsilateral y del músculo erector ipsilateral, y puede disminuir por tracción del glúteo mayor (165).

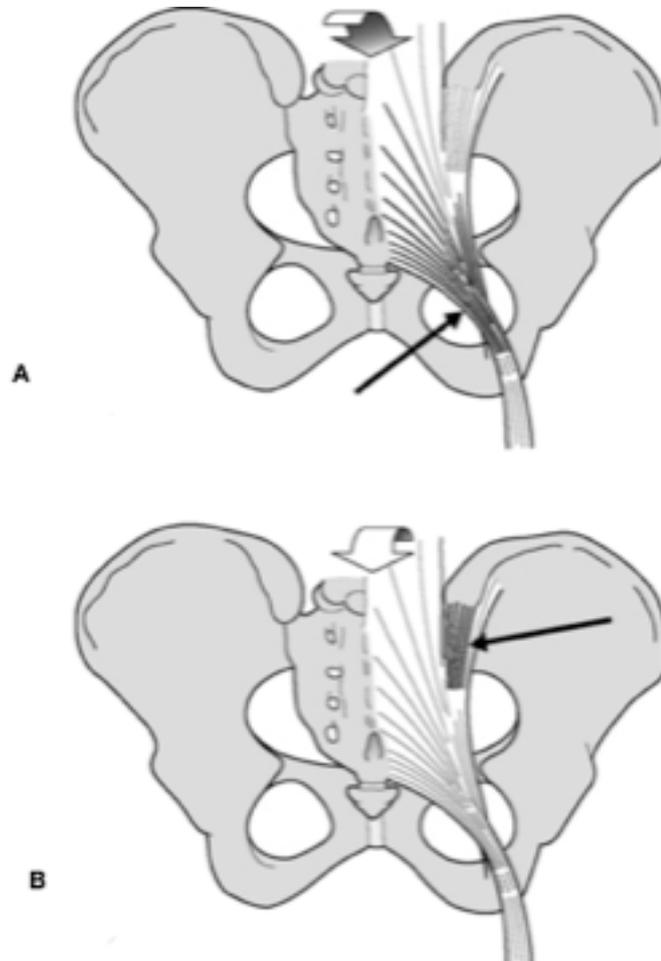


Ilustración 37. A. El ligamento sacrotuberoso limita la nutación. B. El ligamento sacroilíaco dorsal largo limita la contranutación. Tomado de Vleeming et al. (165)

Por tanto, el ligamento sacrotuberoso y el sacroilíaco dorsal largo tienen funciones opuestas, pero poseen un efecto directo el uno sobre el otro debido a una conexión anatómica entre ellos inferior en la espina ilíaca pósterosuperior (Ilustración 37). De forma que el aumento de la tensión del ligamento sacrotuberoso puede aumentar directamente la tensión del sacroilíaco dorsal largo y viceversa (165).

#### 1.3.4.2.2. FUERZA DEL CIERRE

La fuerza de cierre describe las fuerzas que realiza el sistema miofascial sobre la estabilización de la articulación sacroilíaca. Crea una mayor fricción entre las superficies articulares y, por tanto, aumenta el cierre de forma y el "autobloqueo" de la articulación (183). Puede adaptarse situaciones de carga específica.

### 1.3.4.2.2.1. LIGAMENTOS

En la estabilización destacan los ligamentos interóseos (los más potentes y estabilizadores), los sacroilíacos anteriores y posteriores, los sacrociáticos mayores y menores y los ligamentos iliolumbares. Ningún músculo actúa directamente en la articulación sacroilíaca y los movimientos se explican por las conexiones de algunos músculos y fascias con los ligamentos de la articulación (183), (184).

### 1.3.4.2.2.2. MÚSCULOS

Los autores han descrito una unidad interna y otra externa (167).

**A) Unidad externa:** Está formada por tres tiras musculares una oblicua posterior, una oblicua anterior y una longitudinal (167) (Ilustración 38).

El sistema oblicuo posterior está formado por el músculo dorsal ancho, el glúteo mayor y la fascia tóracolumbar que los une (Ilustración 38 A) (167). Funcionan sinérgicamente de forma que cuando el dorsal ancho y el glúteo mayor contralateral se contraen, se produce una fuerza de cierre en la cara posterior de la articulación sacroilíaca que puede aumentar indirectamente por las conexiones anatómicas del músculo glúteo mayor y la fascia tóracolumbar con el ligamento sacrotuberoso (165), (167).

El sistema oblicuo anterior está formado por los músculos oblicuos internos y externos, los aductores contralaterales del muslo y la fascia abdominal (Ilustración 38 B) (183). Los oblicuos participan en la mayoría de los movimientos de las extremidades superiores e inferiores y tronco, actuando el transverso del abdomen como estabilizador (167).

El sistema longitudinal superficial (glúteos medio y menor y aductores contralaterales del muslo) no están directamente involucrados en el bloqueo de fuerzas de la articulación sacroilíaca, pero son importantes para el funcionamiento de la cintura pélvica durante la bipedestación y la marcha, siendo inhibidos de forma refleja cuando la articulación sacroilíaca es inestable (167).

El sistema longitudinal profundo consiste en la unión del músculo erector de la columna, la capa profunda de la fascia tóracolumbar y el ligamento sacrotuberoso, que se conecta a la cabeza larga del bíceps femoral (167).

**B) Unidad interna:** Está formada por los músculos del suelo pélvico, el músculo transverso del abdomen y el diafragma, que aumentan la presión intraabdominal, y el músculo multifido, que produce una compresión intersegmentaria en la columna (Ilustración 39).

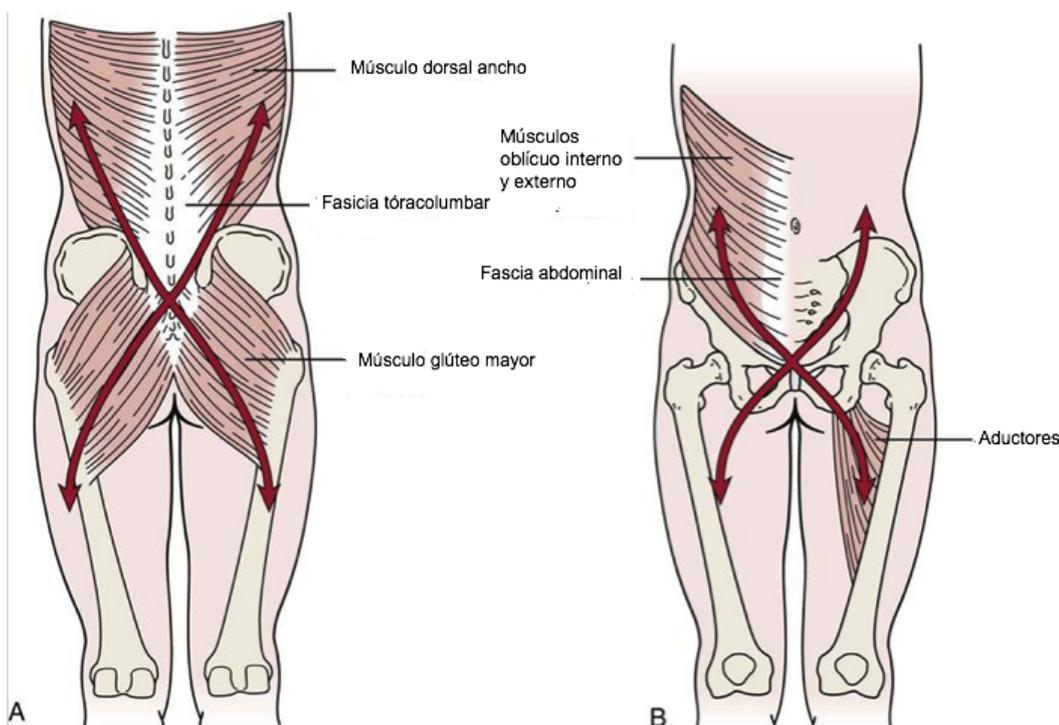




Ilustración 39. La unidad muscular interna. Basado en póster: "Biomechanical model on the etiology of "Lower back pain". Snijders CJ, Vleeming A, Stoeckart R, Starn A.J. Second World Congress on Biomechanics, Amsterdam 1994.

La musculatura anterior y posterior superficial controla la rotación anterior y posterior de la pelvis sobre el fémur fijado (Ilustración 40). Este grupo consiste en los músculos isquiotibiales y el glúteo mayor, el músculo erector de la columna, el recto abdominal, oblicuos internos y externos, psoas, recto femoral y sartorio, y los ligamentos sacrotuberosos y sacroespinosos. Estos sistemas musculares ayudan a estabilizar activamente las articulaciones de la pelvis y contribuye significativamente a la transferencia de la carga durante la marcha y las actividades de rotación pélvica.

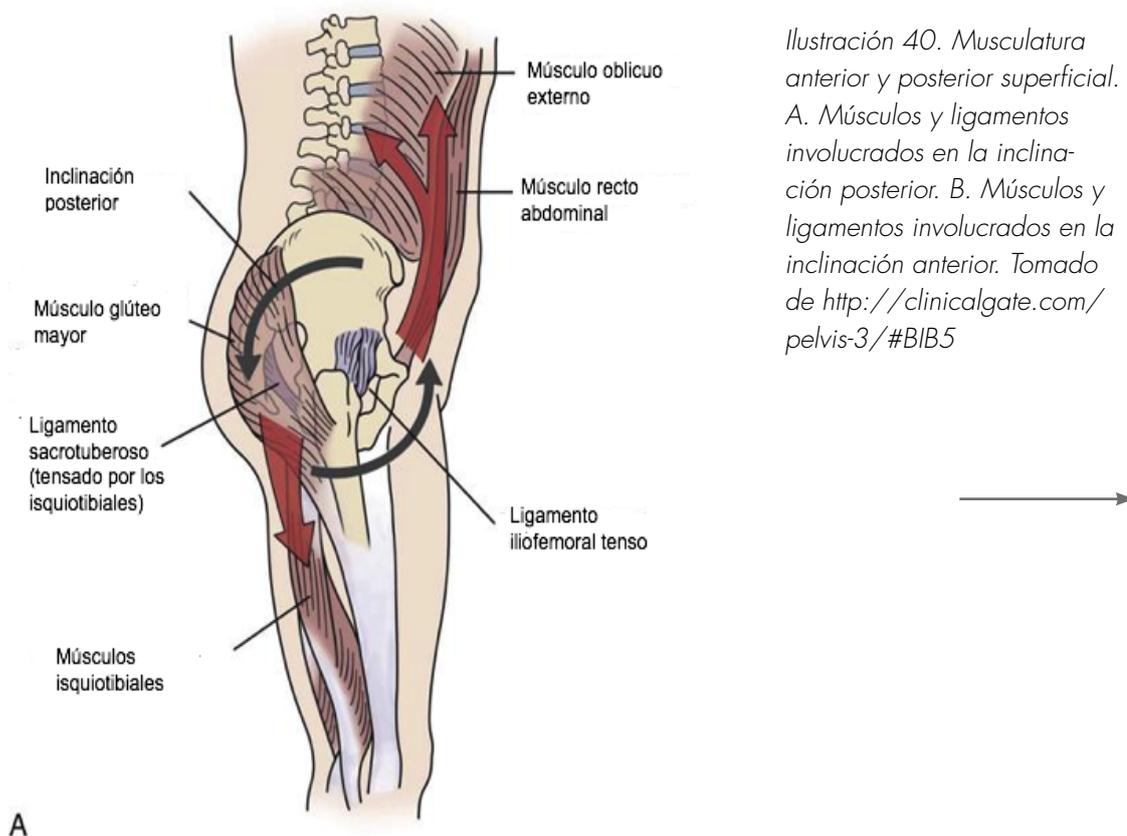
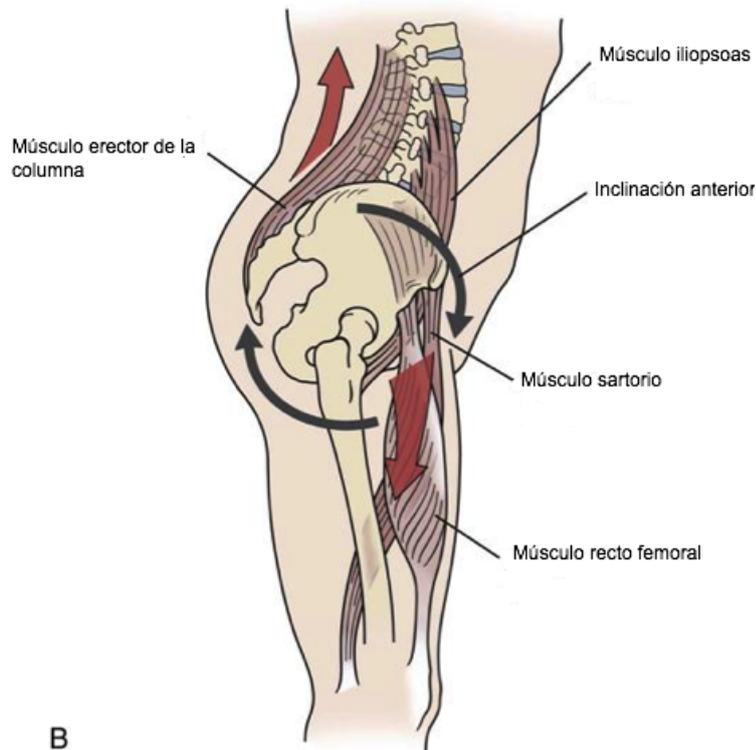


Ilustración 40. Musculatura anterior y posterior superficial. A. Músculos y ligamentos involucrados en la inclinación posterior. B. Músculos y ligamentos involucrados en la inclinación anterior. Tomado de <http://clinicalgate.com/pelvis-3/#BIB5>



### 1.3.4.2.2.3. FASCIA TÓRACOLUMBAR

La fascia tóracolumbar es imprescindible para la estabilidad lumbopélvica y sacroilíaca en situación estática y dinámica. Presenta las siguientes funciones:

1. Resiste las fuerzas de tensión en todos los planos del espacio (167).
2. Incrementa las fuerzas de cierre de la articulación sacroilíaca a través de la tensión generada en los músculos dorsal ancho, glúteo mayor, transverso del abdomen y multifido (167), (187).
3. Relación con las extremidades superiores por dar origen al músculo dorsal ancho, al rotador interno y al aductor del hombro (167).
4. Relación con las extremidades inferiores. Las fuerzas de tracción que se generan sobre el músculo bíceps femoral pueden producir movimiento de la capa más profunda en la zona L5-S1, a través del ligamento sacrotuberoso (167).

## 1.3.5. INFLUENCIA DE LA POSICIÓN SOBRE LAS ARTICULACIONES DE LA CINTURA PELVIANA

### 1.3.5.1. LA PELVIS EN BIPEDESTACIÓN ESTÁTICA

En bipedestación estática el peso del tronco (P) desplaza inferiormente el promontorio del sacro, produciendo su nutación (N1). Simultáneamente, la fuerza de reacción del suelo (flecha R), transmitida por los fémures a nivel coxofemoral, forma, con el peso del cuerpo aplicado al sacro, un par de rotación, que produce una retroversión de la pelvis (flecha N2) y acentúa la nutación y, por lo tanto, la estabilidad sacroilíaca en bipedestación (172) (Ilustración 41).



Ilustración 41. Efecto de la bipedestación sobre la pelvis. Tomado de Kapandji et al. (172)

### 1.3.5.2. LA PELVIS EN DINÁMICA

En movimiento en la pelvis se generan dos torsiones opuestas debido a que un miembro inferior está en apoyo y el otro en oscilación (172). A cada paso la articulación coxofemoral, la pelvis y la columna lumbar se mueven arrastradas por el movimiento que generan los miembros inferiores. La flexión de la articulación coxofemoral se acompaña de una retroversión pélvica debida a la tensión de los músculos extensores y a su vez se acompaña de una flexión lumbar (actitud cifótica) (172). La extensión de la articulación coxofemoral, por la tensión de los músculos flexores anteriores, ocasiona una anteversión pélvica y una extensión lumbar (actitud lordótica) (172).

Durante la deambulación el sacro acompaña a la columna lumbar en su movimiento. Los miembros inferiores impulsan la pelvis y esta, a su vez, arrastra el tronco hacia delante. Los ligamentos iliolumbares frenan esta inercia y limitan la flexo-extensión y la inclinación lateral de la columna lumbar. El sacro también equilibra la columna lumbar con sus propios movimientos de extensión-flexión, opuestos a los de la columna lumbar, y de torsión, con los que compensa los movimientos de inclinación lateral y rotación. Además, los ilíacos, que son arrastrados por los miembros inferiores, a su vez arrastran la columna lumbar mediante la tensión de los ligamentos iliolumbares y se desplazan respecto al sacro con movimientos de rotación anterior y posterior. En la fase de balanceo de la deambulación, con la extremidad inferior en el aire se produce la nutación y con la pierna apoyada la contranutación (177).

En apoyo monopodal, y a cada paso durante la marcha, la reacción del suelo, transmitida por el miembro de sostén, eleva la articulación coxofemoral correspondiente, mientras que, en el otro lado, el peso del miembro en suspensión produce el descenso de la articulación coxofemoral opuesta (172). De esto deriva una compresión en cizallamiento de la sínfisis pubiana, que tiende a elevar el pubis del lado de apoyo y descender el pubis del lado no apoyado (172). De igual manera, las articulaciones sacroilíacas son solicitadas de modo opuesto a cada paso (172).

### 1.3.5.3. LA PELVIS EN DESCARGA

Al analizar la movilidad en descarga, en posición de decúbito supino con las caderas en extensión (Ilustración 42 A), la tracción sobre los músculos flexores (flecha blanca) produce una anteversión de la pelvis, a la vez que el ápex del sacro es impulsado hacia delante, disminuyendo la distancia entre el ápex del sacro y la tuberosidad isquiática y, simultáneamente, una rotación en la articulación sacroilíaca en el sentido de la contranutación (la flecha 2 de la Ilustración 42 A indica el movimiento del hueso ilíaco alrededor del eje de nutación).

Cuando las caderas están en flexión (Ilustración 42 B), la tracción de los músculos isquiotibiales bascula la pelvis en retroversión respecto al sacro, lo que constituye un movimiento de nutación (la flecha 1 indica el movimiento del hueso ilíaco con relación al sacro); dicho movimiento disminuye el diámetro anteroposterior del estrecho superior y aumenta los dos diámetros del estrecho inferior (177).

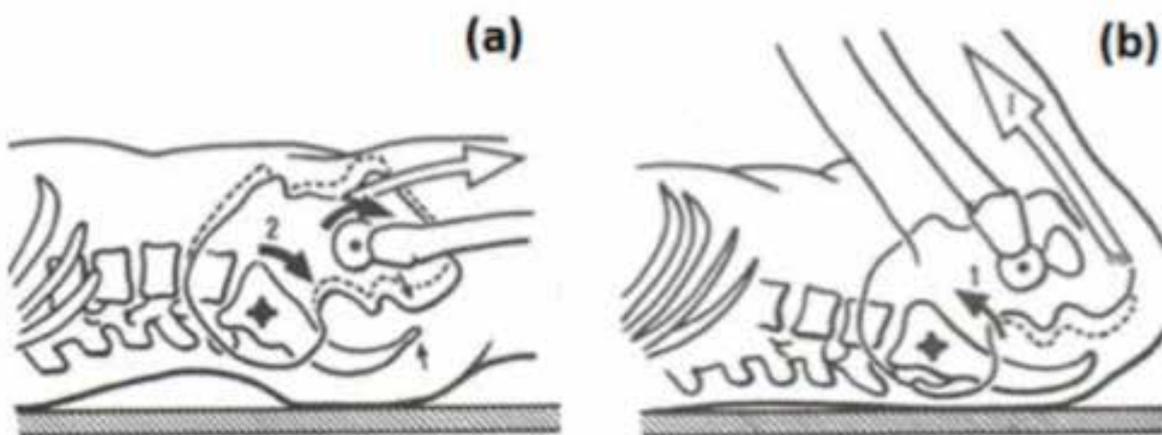


Ilustración 42. A. Cadera en extensión. B. Cadera en flexión. Tomado de Kapandji et al. (172)

## **1.4. PLANIFICACIÓN QUIRÚRGICA**

### **1.4.1. INTRODUCCIÓN**

La planificación preoperatoria es el paso más importante en el proceso de resección y estabilización sacra. Debe ser individualizada y realizada por un equipo multidisciplinario formado por todos los profesionales implicados: cirujanos ortopédicos, colorrectales, urólogos, cirujanos plásticos, oncólogos médicos y radioterapeutas (188).

Los objetivos de la cirugía son: controlar el dolor, preservar la máxima función neurológica posible y/o lograr un objetivo oncológico (paliativo o curativo), minimizando la morbilidad y la mortalidad asociadas (188).

La planificación debe basarse en los resultados de las pruebas diagnósticas. El análisis histológico, la localización, la vascularización, el estado del hueso y de los tejidos y órganos circundantes son cruciales para ello (188). Asimismo, es muy importante la valoración anestésica preoperatoria. El riesgo de las complicaciones no quirúrgicas por el largo tiempo anestésico y la pérdida excesiva de sangre deben ser evaluadas y explicadas al paciente (188).

Por último, el paciente debe ser informado de forma precisa de todo el procedimiento quirúrgico, se han de discutir con él las posibles complicaciones y consecuencias a largo plazo en cuanto a su estado funcional y dolor, por el cambio de calidad de vida que supone para los pacientes y su familia (188), (189).

### **1.4.2. EVALUACIÓN PREOPERATORIA**

#### **1.4.2.1. EVALUACIÓN RADIOLÓGICA**

La extensión del tumor sacro es un factor muy importante para la planificación quirúrgica (190). Para su evaluación se emplean diferentes pruebas de imagen: radiografía simple, TC y RM son las más frecuentes (7).

La RM es la prueba de imagen que ofrece mayor información en el diagnóstico y en la valoración topográfica del tumor sacro en cuanto a su localización y su relación con las estructuras periféricas y la estadificación del tumor (188), (190).

La TC proporciona detalles sobre el hueso y muestra la posible calcificación del tumor (190).

Puede ser también necesaria una angiografía pélvica para valorar su vascularización y relación con los vasos periféricos (188).

#### **1.4.2.2. EVALUACIÓN HISTOLÓGICA**

La evaluación histológica es muy importante. El método de elección es la biopsia percutánea guiada por TC (191). El punto de entrada y la trayectoria de la aguja deben ser cuidadosamente seleccionados, de forma que puedan ser incluidos en la resección del tumor. Si es posible, la biopsia debe ser realizada en la línea media posterior, en una zona de fácil acceso al tumor para reducir la posible contaminación por células tumorales de los tejidos circundantes y del espacio epidural. También es importante dejar una marca permanente en el punto de entrada y trayectoria de la biopsia para su posterior identificación y resección en la cirugía definitiva (190).

La biopsia abierta está indicada si la percutánea no permite obtener un diagnóstico definitivo (191). La biopsia transrectal no debe realizarse a menos que exista una evidencia física y radiográfica de afectación rectal (191) puesto que podría ser contaminado con células tumorales precisando una resección posterior (191).

### **1.4.2.3. ESTADIFICACIÓN ONCOLÓGICA**

La estadificación oncológica para evaluar la extensión de la enfermedad se realiza con una TC toraco-abdomino-pélvica y una gammagrafía ósea con Tc-99m. No obstante, esta última presenta una alta sensibilidad, pero una baja especificidad para las lesiones óseas. A pesar del aumento de la popularidad del uso de la tomografía por emisión de positrones (PET) en la oncología clínica, su sensibilidad y especificidad para tumores sacros todavía no está bien estudiada (188).

### **1.4.2.4. VALORACIÓN ANESTÉSICA PREOPERATORIA**

La valoración anestésica preoperatoria es necesaria. Algunos autores para pacientes que se van a someter a una resección espinopélvica recomiendan la realización de una valoración por cardiología, incluyendo un ecocardiograma de estrés con dobutamina, para detectar enfermedad cardiovascular oculta (188).

## **1.4.3. PLANIFICACIÓN DEL TIPO DE RESECCIÓN Y DE LOS MÁRGENES QUIRÚRGICOS**

Una de las cuestiones más importantes es determinar qué tipo de resección se realizará y qué márgenes se quieren obtener. En tumores benignos, puede estar indicada la resección por fragmentación intralesional preservando las raíces sacras, sin embargo, supone un alto riesgo de recurrencia local (87). Los tumores malignos deberían ser resecados en bloque con márgenes amplios, pues disminuye significativamente su riesgo de recurrencia local y aumenta su supervivencia (87). Sin embargo, no es siempre factible realizarlo a causa de problemas técnicos y/o complicaciones intraoperatorias. Además, se ha de tener en cuenta que puede producirse una alteración de la función motora, vesical, intestinal y sexual y la calidad de vida significativamente.

## **1.4.4. PLANIFICACIÓN QUIRÚRGICA**

### **1.4.4.1. ELECCIÓN DEL ABORDAJE**

El abordaje del tumor está determinado por el nivel de resección, la afectación visceral y la pericia del cirujano.

Algunos autores indican el abordaje posterior como abordaje único en las sacrectomías totales (192), (193), (194), (195) pero la mayoría emplea un abordaje posterior en los tumores que precisan una resección al nivel o distal al disco S2-S3, que se encuentra a nivel del foramen de S2 (188). Para sacrectomías más altas (una resección más proximal a los forámenes de S2) o tumores con afectación visceral que precisan la resección del recto se indica un abordaje anterior y un posterior, empezando por el anterior para permitir la movilización, ligadura de estructuras vasculares, movilización de las vísceras, osteotomías sacras anteriores y realización de un colgajo VRAM (miocutáneo de recto abdominal vertical) en caso necesario (188).

### **1.4.4.2. ELECCIÓN DEL NIVEL DE LAS OSTEOTOMÍAS**

El nivel de osteotomía transversal depende del nivel del tumor. Se recomienda realizarla en el primer nivel sano (188).

En caso de sacrectomía total en bloque y en la resección de tumores localizados en el ilíaco medial es necesaria la resección de la articulación sacroilíaca.

### **1.4.4.3. NECESIDAD DE ESTABILIZACIÓN**

Es tratada posteriormente en el apartado 1.8.1.1.

### **1.4.4.4. REALIZACIÓN DE PROCEDIMIENTOS NECESARIOS ANTES DE LA CIRUGÍA**

Se han de planificar los procedimientos quirúrgicos necesarios para la resección oncológica segura del tumor.

#### **1.4.4.4.1. CATETERIZACIÓN DE LOS URÉTERES Y DERIVACIÓN EXTERNA DE LA ORINA**

La cateterización de los uréteres se emplea frecuentemente para salvaguardarlos durante el abordaje, el aislamiento y la liberación tumor. En algunos pacientes, los uréteres pueden situarse de forma aberrante como resultado de la distorsión de la anatomía local producida por el tumor, o pueden ser difíciles de identificar y movilizar a causa de los efectos de una radioterapia previa (196), (197).

En casos en los que se prevea la resección de pared de la vejiga, puede ser necesaria la derivación externa de la orina (179).

#### **1.4.4.4.2. COLOSTOMÍA**

El objetivo de la colostomía electiva es evitar el riesgo de perforación rectal y disminuir el riesgo de infección. Algunos autores la consideran si se prevé la resección de la pared del recto (179), (198) o si hay una posibilidad de violar los márgenes del tumor durante la disección del recto (197) o cuando el tumor implica una lesión primaria del recto con extensión local en el sacro (196).

#### **1.4.4.4.3. LIMPIEZA DE COLON**

La preparación intestinal preoperatoria se realiza de forma semejante a la de la cirugía colorrectal. Es fundamental para prevenir la infección de herida quirúrgica ya que esta puede producirse de tres formas: de forma intraoperatoria a través de una lesión directa del intestino y/o recto; en el posoperatorio mediante la translocación de las bacterias a través de la pared isquémica del recto o desde la piel por la proximidad del ano y la incontinencia fecal (188).

#### **1.4.4.4.4. COLGAJOS DE TEJIDOS BLANDOS E INJERTOS ÓSEOS VASCULARIZADOS**

Los colgajos y el injerto óseo vascularizado para la reconstrucción tras la resección sacra también deben ser programados (188). Se detallan en el apartado 1.7.

En general, se deben planificar dependiendo del resultado anatomopatológico y la confirmación de contaminación de los márgenes del tumor. Tenemos que tener en cuenta que suponen un incremento de la duración de la cirugía y una mayor exposición, pudiendo incrementar las complicaciones.

## 1.5. CLASIFICACIÓN QUIRÚRGICA DE LAS SACRECTOMÍAS

### 1.5.1. INTRODUCCIÓN

La relación del sacro con estructuras nerviosas, grandes vasos y órganos en la cavidad pélvica dificulta la sacrectomía, sobre todo cuando es en bloque y con márgenes amplios. Para guiar al cirujano en la toma de decisiones en la planificación de la resección sacra y la reconstrucción espinopélvica y de tejidos blandos que permita obtener los mejores resultados oncológicos y funcionales se han publicado diferentes clasificaciones quirúrgicas (199).

En la columna móvil se emplean dos sistemas de estadificación: la clasificación quirúrgica de Enneking (200) y la de Weinstein-Boriani-Biagini (201). No obstante, en los tumores sacros no son útiles puesto que en esta localización se han de tener en cuenta otras estructuras (incluyendo el recto, las raíces sacras, los vasos ilíacos, etc.) y además se ha valorar la necesidad de reconstrucción de la estabilidad lumbo-pélvica (202).

Se han descrito diferentes sistemas de estadificación pero ninguno de ellos está estandarizado ni todos tienen en cuenta todas estas cuestiones (82), (199), (202).

### 1.5.2. SISTEMA CLASIFICACIÓN DE FOURNEY *et al.* (82) DE RESECCIONES EN BLOQUE DEL SACRO

Fourney *et al.* (82) clasificaron las resecciones sacras en dos grupos: las empleadas para tumores de línea media y las usadas para lesiones excéntricas (como el condrosarcoma) (Ilustración 43 y Tabla 3).

#### a. Tumores de la línea media

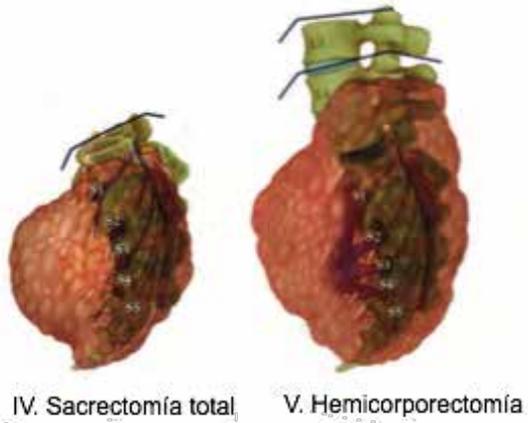
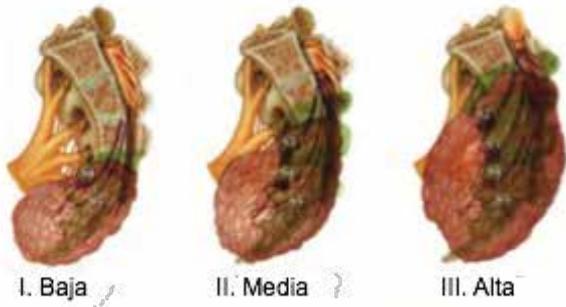
En la línea media definieron la sacrectomía por el nivel de amputación de raíz nerviosa, no por el de la osteotomía. Incluyen: amputaciones bajas, media y alta, sacrectomía total y hemiscoporectomía (82).

La sacrectomía baja sacrifica al menos una raíz de S4; la media, al menos una raíz de S3; la alta, una raíz de S2, aunque para mantener los márgenes libres de enfermedad, la osteotomía sacra alta ocasionalmente atraviesa el cuerpo de S1 (por encima de un foramen sacro anterior), sacrificando como mínimo una de las raíces de S1. En la sacrectomía total no se preserva ninguna raíz de S1 (82). La hemiscoporectomía (amputación traslumbar) se indica en los tumores que se extienden del sacro a la columna lumbar (203). Los autores del artículo restringían el uso de este procedimiento a los pacientes que presentaban una paraplejía funcional preoperatoria (82).

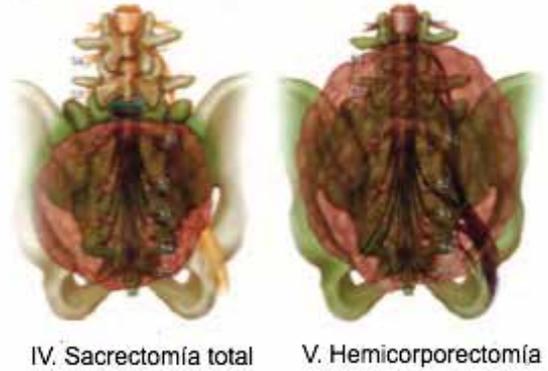
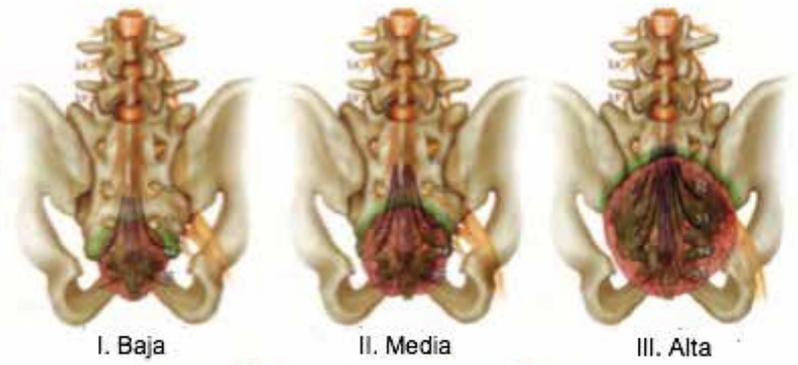
#### b. Tumores excéntricos (laterales)

En el grupo de tumores excéntricos puede producirse una resección total de la articulación sacroilíaca, una parcial de la misma, o no darse ninguna resección de la misma (82). Según el nivel de resección puede producirse una amputación de raíces (82).

**Tumores sacros de la línea media  
(Plano sagital)**



**Tumores sacros de la línea media  
(Plano coronal)**



**Tumores excéntricos  
(visión posterior)**

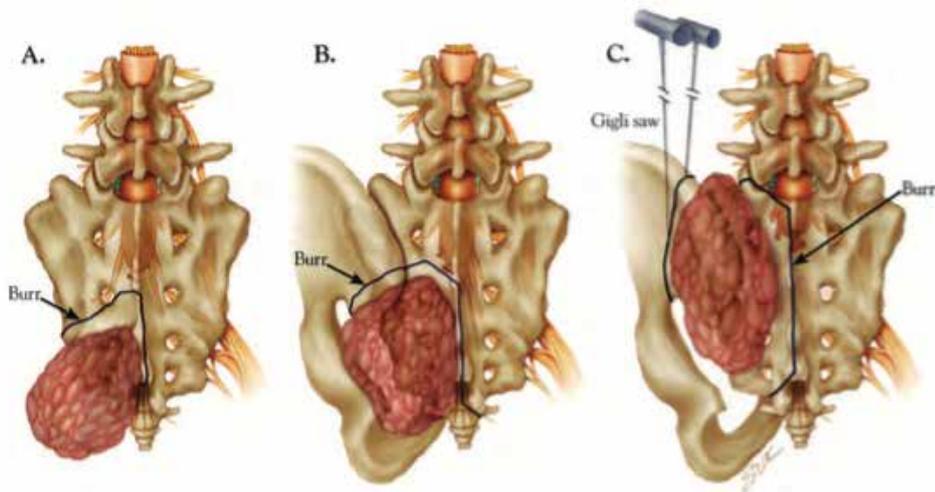


Ilustración 43. Clasificación quirúrgica sacra de Fourney et al. (82). Tomado de Fourney et al. (82).

Tabla 3. Clasificación de las resecciones en bloque sacras según Fourney et al. (82). Tomado de Fourney et al. (82).

Tipo de sacrectomía	Raíces sacrificadas	Posición de paciente	Reconstrucción espino-pélvica	Colgajo de cierre
<b>Línea media</b>				
Baja	S4 e inferiores	Prono flexionada	No	Local
Media	S3 e inferiores	Prono flexionada	No	Local
Alta	S2 (o S1 unilateral) y debajo	Laparotomía media-flexión prono*	No	VRAM
Total	S1-S5 bilateral	Laparotomía media-flexión prono*	Sí	VRAM
Hemicorporectomía	Translumbar	Supino-lateral	No	MBS
<b>Lateral</b>				
Sacroilíaca unilateral	Ninguna	Lateral	No	Local
Hemisacrectomía	Unilateral variable	Lateral	No	Local

VRAM: Miocutáneo de recto abdominal vertical; MBS: Muslo bilateral subtotal

\*Procesos separados

### 1.5.3. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE ZHANG et al. (202) RESECCIONES EN BLOQUE DEL SACRO

Zhang et al. (202), basándose en su experiencia clínica, propusieron un sistema de clasificación para los tumores sacros que es una combinación del sistema de Weinstein-Boriani-Biagini (201) y de la clasificación de Enneking (200) (Tabla 4). Se basa en el análisis de la extensión del tumor usando los estudios de imagen preoperatorios. Establecieron 16 categorías posibles según los siguientes parámetros (202):

1. Según su localización divide los tumores sacros en 2 tipos mayores:

Tipo I (tumores altos): afecta a los segmentos S1 y/o S2.

Tipo II (tumores bajos): afecta a los segmentos de S3 a S5.

2. Parámetro D (Ilustración 44): Representa la distancia entre el punto del tumor que más protruye más anteriormente en la cavidad pélvica. Divide en a o b los tumores ( $a: < 5 \text{ cm}$  o  $b: \geq 5 \text{ cm}$ ).

3. Según un plano anatómico axial lo divide en zonas (Ilustración 45): En los tumores tipo I se divide en zona 1 (área presacra), zona 2 (área de articulación sacroilíaca) y zona 3 (área sacra posterior). En los tumores tipo II (tumores bajos) solo existen las zonas 1 y 3.



Ilustración 44. Diagrama que ilustra el factor independiente D. Tomado de Zhang et al. (202)

Ilustración 45. Diagrama esquemático de las subáreas de los tumores tipo I dividido en zonas. Tomado de Zhang et al. (202)

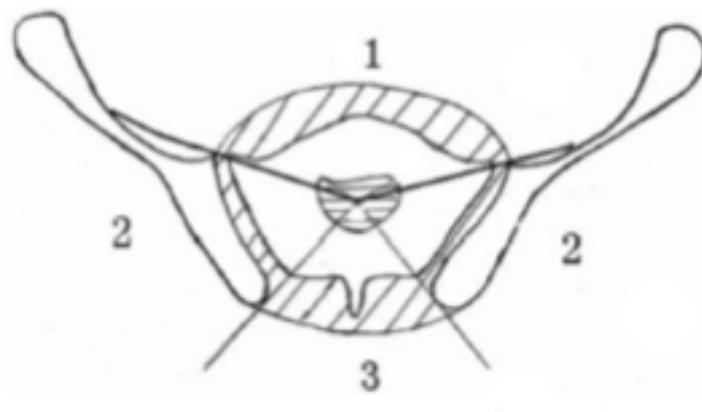


Tabla 4. Clasificación quirúrgica sacra de Zhang et al. (202)

TIPOS	SUBTIPOS	SUBÁREAS DE LOS SUBTIPOS	DEFINICIÓN DE LA CLASIFICACIÓN
Tipo I	Tipo I a	Tipo I a 1	Tumores sacros altos que solo afectan el área presacro; el volumen presacro del tumor no es grande
		Tipo I a 2	Tumores sacros altos que afectan a la articulación sacroilíaca unilateral/bilateral; el volumen presacro del tumor no es grande
		Tipo I a 3	Tumores sacros altos que solo afectan el área sacra posterior
		Tipo I a 1 2	Tumores sacros altos que afectan al área presacro y a la articulación sacroilíaca; el volumen presacro del tumor no es grande
		Tipo I a 1 3	Tumores sacros altos que afectan el área presacro y al área sacra posterior; el volumen presacro del tumor no es grande
		Tipo I a 2 3	Tumores sacros altos que afectan al área sacra posterior y la articulación sacroilíaca; el volumen presacro del tumor no es grande
		Tipo I a 1 2 3	Tumores sacros altos que afectan al área presacro y al área sacra posterior y la articulación sacroilíaca; el volumen presacro del tumor no es grande
	Tipo I b	Tipo I b 1	Tumores sacros altos que afectan al área presacro; el volumen presacro del tumor es grande
		Tipo I b 1 2	Tumores sacros altos que afectan al área presacro y la articulación sacroilíaca; el volumen presacro del tumor es grande
		Tipo I b 1 3	Tumores sacros altos que afectan al área presacro y el área sacra posterior; el volumen presacro del tumor es grande
		Tipo I b 1 2 3	Tumores sacros altos que afectan al área presacro, el área sacra posterior y la articulación sacroilíaca; el volumen presacro del tumor es grande

TIPOS	SUBTIPOS	SUBÁREAS DE LOS SUBTIPOS	DEFINICIÓN DE LA CLASIFICACIÓN
Tipo II	Tipo II a	Tipo II a1	Tumores sacros que afectan S3-5; el volumen presacro del tumor no es grande
		Tipo II a3	Tumores sacros que afectan S3-5; los tumores crecen hacia el área sacra posterior
		Tipo II a13	Tumores sacros que afectan S3-5; el volumen presacro del cuerpo no es grande; los tumores crecen hacia el área sacra posterior
	Tipo II b	Tipo II b1	Tumores sacros que afectan S3-5 y crecen hacia el área presacra; el cuerpo del tumor es grande
		Tipo II b3	Tumores sacros que afectan S3-5 y crecen hacia el área presacra y el área sacra posterior; el cuerpo del tumor es grande

De acuerdo con su clasificación propusieron las siguientes indicaciones en cuanto a la selección del abordaje quirúrgico y la reconstrucción espinopélvica (202):

**A) Selección del abordaje quirúrgico:**

1. Abordaje anterior solo: Indicado en los tipos I a1, I b1, II a1 y II b1.
2. Abordaje posterior solo: Indicado en los tipos I a2, I a3, I a12, I a13, I a23, I a123, II a3 y II a13 (202).
3. Abordaje anterior-posterior combinado: Indicado en tumores que afectan a los segmentos S1 y S2 cuando existe invasión de la zona 2, en los tipos I b12, I b13, I b123 y II b13 (202).

**B) Determinación de la reconstrucción de la continuidad lumbopélvica:**

La reconstrucción de la región espinopélvica está indicada en los tipos I a2, I a12, I a23, I a123, I b12, y I b123 (202), tumores sacros altos con afectación unilateral o bilateral de la articulación sacroilíaca (tipo I) a menudo requieren reconstrucción lumbopélvica para restaurar la continuidad fisiológica (202).

#### 1.5.4. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE LI et al. (199) EN RESECCIONES EN BLOQUE DEL SACRO

Li et al. (199) crearon un sistema de clasificación quirúrgica para los tumores primarios malignos de sacro. A diferencia de la clasificación de Fourney et al. (82) la de Li et al. (199) no emplea el nivel de raíces sacrificadas como marca anatómica sino los niveles sacros. Dividen el sacro en tres regiones: sacro superior (región 1), el sacro medio (región 2), y sacro inferior (región 3) por los niveles S1-S2 y S2-S3. Basándose en la extensión del tumor, los tipos de resección en bloque de los tumores primarios sacros son clasificados en 5 tipos (3) (Ilustración 46):

- Tipo I: Sacrectomía total, con abordaje combinado. Incluye la resección de la región 1, o a la 1 y 2 o la 1, 2 y 3.
- Tipo II: Resección de la región 2 y 3.
- Tipo III: Resección de la región 3.
- Tipo IV: Hemisacrectomía sagital. Indicada en tumores excéntricos. Generalmente, es necesario reseccionar una porción del ilion adyacente con el tumor.
- Tipo V: Cuando también se ha de reseccionar L5 por su afectación.

Para las resecciones tipo I, IV y V, indican la resección combinada anterior y posterior. Para los tipos II y III está indicada la resección por vía posterior única (199).

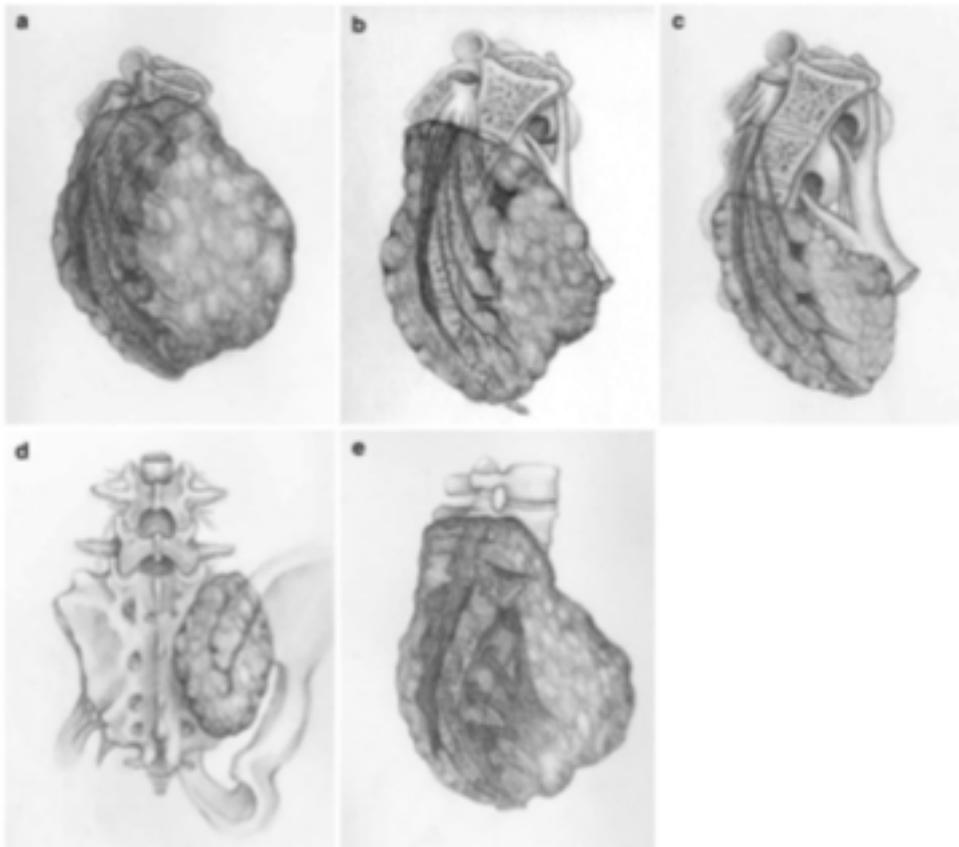


Ilustración 46. Clasificación quirúrgica de Li et al. (199) (a) Tipo I, (b) tipo II, (c) tipo III, (d) tipo IV y (e) tipo V.

## 1.6. RESECCIÓN QUIRÚRGICA DEL TUMOR SACROPÉLVICO

### 1.6.1. INTRODUCCIÓN

La sacrectomía es una técnica exigente, sobre todo cuando el tumor es proximal a S3, donde estructuras vasculares y raíces nerviosas presentan un alto riesgo de lesión durante la cirugía (204).

Sus objetivos en tumores malignos de sacro son:

1. Lograr la resección total en bloque del tumor con márgenes libres, previniendo la recurrencia local y la metástasis a distancia del tumor.
2. Preservar la máxima función vesical y rectal y prevenir nuevos déficits neurológicos y mejorarlos si existen previamente a la cirugía.
3. Preservar o restablecer la estabilidad sacroilíaca.
4. Conseguir una cicatrización primaria de las heridas quirúrgicas.
5. Conseguir una deambulación precoz y controlar el dolor.
6. Mantener y/o mejorar la calidad de vida del paciente.

Ninguno de estos objetivos debe ser obtenidos a expensas de dejar tejido tumoral residual.

### 1.6.2. INDICACIONES DE LA SACTECTOMÍA

La principal indicación de la sacrectomía es el tumor primario maligno de sacro que requiere la resección para su curación. Los más frecuentemente tratados así son el cordoma, el condrosarcoma, el osteosarcoma, los tumores malignos de vaina nerviosa periférica, el ependimoma mixopapilar extradural y el carcinoma recurrente pélvico (205).

Con menor frecuencia, la sacrectomía se indica en pacientes con tumores primarios o recurrentes de las vísceras pélvicas (la mayoría carcinoma colorrectal con afectación sacra por extensión directa) sin evidencia de enfermedad ganglionar o metastásica y en lesiones benignas agresivas recurrentes para las que los tratamientos menos agresivos tienen peores resultados (205).

La sacrectomía puede ser adaptada para el tratamiento intralesional de tumores benignos de forma menos agresiva.

### 1.6.3. CONTRAINDICACIONES DE LA SACTECTOMÍA

Las contraindicaciones de la sacrectomía son:

1. Enfermedad metastásica
2. Trombosis de la vena ilíaca o de la cava por sarcoma, pues implican un rápido desarrollo de la enfermedad metastásica y diseminación, contraindicando la cirugía (188).
3. La incapacidad para obtener márgenes libres de tumor en la planificación de la cirugía es una contraindicación relativa para la sacrectomía en bloque (188).
4. El mal estado médico, nutricional y el mal estado general son contraindicaciones, aunque esto varía según el procedimiento específico (188). P. ej. una resección de la mitad del sacro por vía posterior tiene muy poca repercusión fisiológica para el paciente y puede ser tolerada por la mayoría de ellos en ausencia de enfermedad cardiopulmonar significativa (188). Sin embargo, las resecciones espinopélvicas que implican una inestabilidad de la región y la necesidad de reconstrucción suponen un impacto significativamente mayor, por ello estos procedimientos precisan que el paciente sea sometido a una evaluación preoperatoria más exhaustiva para determinar su capacidad de tolerar y sobrevivir a la cirugía (188).

5. La falta de aceptación del procedimiento por parte del paciente es una contraindicación absoluta para una sacrectomía oncológica (188). La cirugía supone una alta tasa de complicaciones y unas posibles consecuencias funcionales neurológicas por la amputación intencionada de raíces lumbosacras (la alteración de la función intestinal, vesical y sexual y de la deambulación) (188). Por ello, se debe llevar a cabo un asesoramiento preoperatorio exhaustivo al paciente para que pueda conocer los posibles resultados y la evolución posoperatoria (188). Algunos pacientes rechazan esta cirugía por su impacto significativo y permanente en su calidad de vida (188).

#### **1.6.4. TÉCNICA QUIRÚRGICA DE LA SACRECTOMÍA**

##### **1.6.4.1. ABORDAJES**

###### 1.6.4.1.1. INTRODUCCIÓN

La exposición del sacro es compleja. Su anatomía y el gran volumen de tumor en el momento del diagnóstico dificultan la cirugía (190).

El abordaje dependerá de la localización anatómica y del tamaño del tumor. Puede ser anterior (transabdominal o retroperitoneal), posterior (intradural o extradural), anterior y posterior combinado (secuencial o simultáneo), transperineal o hemicorporectomía. El más utilizado es el anterior-posterior secuencial (206). El anterior permite la protección de los órganos viscerales y la disección directa del tumor. El posterior permite una mejor exploración de los elementos neurales y la reconstrucción ósea en caso necesario. El abordaje combinado simultáneo se ha asociado una cirugía extensa con un tiempo quirúrgico prolongado y un largo tiempo de recuperación (206).

###### 1.6.4.1.2. ABORDAJE ANTERIOR

###### 1.6.4.1.2.1. ABORDAJES E INCISIONES

###### 1.6.4.1.2.1.1. ABORDAJE RETROPERITONEAL

Su mayor ventaja es que permite realizar el abordaje posterior y anterior simultáneamente, facilitando la resección del tumor (207).

El paciente se posiciona en decúbito lateral, generalmente izquierdo para evitar lesiones de la vena cava inferior (207). Se realiza una incisión curva oblicua desde el ángulo posterior de la XII costilla, en paralelo a la cresta ilíaca, hacia la línea media sobre la sínfisis púbica (207). Se realiza la disección a través del espacio retroperitoneal a la pelvis hasta identificar el uréter, la arteria y vena ilíaca ipsilateral (207). Sección del reflejo retrovesical (o retrouterino) del peritoneo (207). Se moviliza el colon rectosigmoide para obtener una mejor exposición antes de movilizar el tumor (207).

###### 1.6.4.1.2.1.2. ABORDAJE TRANSABDOMINAL

Se considera que este abordaje es probablemente superior para los tumores que afectan a los vasos pélvicos, pues facilitar el control vascular, especialmente en tumores que no pueden ser embolizados antes de la cirugía (207). Además, también facilita la movilización bilateral de los grandes vasos y de las estructuras contralaterales al lado elegido (207).

El abordaje transabdominal se realiza con el paciente en decúbito supino y puede realizarse a través de una incisión en la línea media vertical o una incisión transversal baja (incisión de Pfannensteil modificada) (207). A través de estos abordajes se alcanza el espacio presacro a través de la cavidad peritoneal.

En la incisión modificada de Pfannenstiel se realiza una línea transversa baja ligeramente curva 2 traveses por encima de la sínfisis púbica y que se extiende por fuera de los bordes laterales de los músculos rectos mayores. Se abre y se desinserta la fascia de los rectos y se ligan los vasos perforantes (208). Se abre el peritoneo parietal en sentido craneocaudal (208). Los vasos epigástricos inferiores, que se encuentran por fuera del borde lateral del músculo recto anterior y por debajo de las aponeurosis fusionadas del oblicuo interno y el transverso del abdomen, se deben ligar o cauterizar si se ha de extender la incisión en sentido más lateral (208).

En la incisión vertical en la línea media se realiza una laparotomía en línea media longitudinal de 2-3 cm desde el ombligo a la sínfisis púbica, por debajo del nivel de la unión lumbosacra, a través de los músculos rectos abdominales y de todas las capas de la pared abdominal salvo el peritoneo (208). Se disecciona y se liga la arteria y vena ilíaca interna (208).

#### 1.6.4.1.3. ABORDAJE POSTERIOR

##### 1.6.4.1.3.1. ABORDAJE POSTERIOR TRANSACRO

Sus principales ventajas son la familiaridad del abordaje, la accesibilidad a los compartimentos intraespinales e intradurales, y la buena diferenciación entre el tumor y los tejidos nerviosos (188), (190).

El paciente es colocado en posición decúbito prono. Debido a la proximidad de la incisión del orificio anal, se ha de realizar una preparación importante de la piel, incluyendo el uso de barreras de plástico (190).

La incisión de la piel tiene que ser planificada para el cierre. Se ha de tener en cuenta que la piel y tejidos blandos subyacentes afectados por tumor, la zona y trayectoria de la biopsia previa, cambios inducidos por la radiación o una cirugía anterior también deben ser extirpados con el espécimen (188).

Existen diferentes tipos de incisiones: en línea media, en estrella invertida de "Mercedes-Benz", en C, ligeramente curvada, etc. Ninguna de ellas ha demostrado ser la más ventajosa, y la elección depende de las preferencias del cirujano y de las condiciones locales (188).

La incisión se extiende proximalmente hasta 2 niveles vertebrales completos sobre el nivel más bajo afectado y se extiende más allá del cóccix, dejando la piel, tejido subcutáneo y músculo en su lugar sobre el sacro para facilitar la resección en bloque (188).

Si el recto se va a incluir con la resección, dependiendo de la afectación del mismo o la incapacidad de obtener su disección adecuada sin violarlo y de la decisión que se tome desde el punto de vista oncológico del manejo del tumor, en el extremo caudal de la incisión se realiza una incisión circunferencial alrededor del ano necesaria para su amputación (188).

##### 1.6.4.1.3.2. ABORDAJE TRANSPERINEAL

Fue descrito inicialmente por MacCarty et al. (209), y detallado posteriormente por McCormick (210). Permite un acceso fácil al espacio presacro con una mínima morbilidad. Es adecuado para la resección de lesiones del sacro distal a nivel o por debajo del segmento S3, porque implica un alto riesgo de lesión de grandes vasos, recto, tronco lumbosacro y violación de la cápsula anterior del tumor. En tumores distales en sacro y cóccix la disección puede ser iniciada con un abordaje transperineal o transcoccígeo. Sin embargo, estos tumores son poco frecuentes (solo un 10% de los tumores sacros primarios) (207).

El paciente se coloca en la posición de Kraske (en prono flexionado), se realiza una incisión en línea media desde el sacro hacia el ano. Se incide sobre el glúteo mayor, los ligamentos sacrotuberosos y el músculo piriforme. Se divide el ligamento anococcígeo y se accede al espacio presacro (190), (207). Posteriormente se realizó una modificación de este abordaje para permitir una mayor exposición del tumor en la que el paciente es colocado en posición de litotomía con una sutura de cierre del ano y se penetra en el espacio presacro mediante una incisión perineal en U invertida.

#### 1.6.4.1.4. ABORDAJE COMBINADO ANTERIOR-POSTERIOR

El abordaje combinado anterior-posterior está indicado en tumores primarios por encima de la tercera vértebra sacra o con una extensa afectación de la unión lumbosacra (sobre todo del platillo de S1) (207). Algunos cirujanos también lo indican cuando el tumor presenta un gran volumen, cuando existe una abundante vascularización y en lesiones que penetran en la fascia pélvica anterior (207).

Permite el control y/o disección de los principales vasos pélvicos y vísceras pélvicas, la resección, resección de tumores dentro del canal espinal, con la ligadura del saco tecal (si es necesario), y el control de posibles fugas de líquido cefalorraquídeo (207).

Los dos abordajes pueden llevarse a cabo simultáneamente o secuencialmente en posición decúbito lateral.

El abordaje combinado simultáneo permite un acceso al aspecto anterior y posterior del sacro al mismo tiempo. Sus ventajas son que no precisa recolocar al paciente para realizar la exposición del sacro y que supone una menor pérdida de sangre (207). Como principales desventajas destaca que la exposición es limitada y la reconstrucción espinopélvica es más complicada (207). El secuencial generalmente se indica en tumores que afectan a S1 y S2, para lograr un mayor control de los vasos anteriores y evitar la perforación de vísceras (207).

### 1.6.4.2. DISECCIÓN Y RESECCIÓN SACRA

#### 1.6.4.2.1. ABORDAJE ANTERIOR

##### 1.6.4.2.1.1. MANIPULACIÓN DE TEJIDOS BLANDOS

###### 1.6.4.2.1.1.1. DISECCIÓN DEL ESPACIO PRESACRO

Se realiza una disección retroperitoneal o transabdominal del espacio presacro a nivel de la región lumbar y la pélvica (188).

Se inspeccionan los contenidos abdominales para confirmar la reseabilidad del tumor y asegurarse de que no existen otras masas intraabdominales que impidan una resección curativa (188). El intestino se moviliza y se identifican ambos uréteres y los vasos ilíacos internos. Se señalizan las arterias y venas ilíacas comunes con vessel-loops humedecidos, sin comprimir las estructuras (188).

###### 1.6.4.2.1.1.2. DISECCIÓN Y MANIPULACIÓN DE ÓRGANOS

Si ha de preservarse el recto, se realiza una resección del peritoneo retrorrectal y el colon rectosigmoide se disecciona fuera de la cápsula del tumor. El sigma se separa de la reflexión lateral del peritoneo incidiendo sobre la línea de Toldt (188). Si el recto debe ser resecado se ha de seccionar y resecarse con el tumor (188).

Los uréteres se han de identificar, proteger y movilizar (188).

###### 1.6.4.2.1.1.3. MANIPULACIÓN DE VASOS

Las arterias ilíacas comunes, la vena cava inferior y la aorta se movilizan del aspecto anterior de los cuerpos de L4 y L5 (188). Los vasos ilíacos internos se ligan y se seccionan (188). Las divisiones anteriores de las venas ilíacas internas son respetadas si es oncológicamente posible y las arterias ilíacas externas deberían ser preservadas (188).

La parte anterior y lateral de los vasos sacros y los tumorales son identificados, ligados y seccionados. El nivel exacto de la ligadura de los vasos depende de la localización del tumor (188).

#### *1.6.4.2.1.1.4. EXPOSICIÓN DE LA MASA TUMORAL*

Se identifica la articulación lumbosacra, la porción cefálica de la escotadura ciática, que da localización intraoperatoria del tumor, y estructuras adyacentes. La cápsula del tumor se delimita circunferencialmente (188).

La exposición de la masa tumoral debe ser cuidadosa para dejar la mayor cantidad de tejido graso normal posible con el espécimen. Es importante realizar una hemostasia cuidadosa del plexo venoso presacro (188).

#### *1.6.4.2.1.1.5. DISECCIÓN DE LAS RAÍCES SACRAS*

La disección de las raíces depende de la localización del tumor. Tendría que realizarse un nivel por encima de la osteotomía planificada. Las raíces sacras afectadas por el tumor son amputadas en una localización en las que no exista el riesgo de violarlo (188).

Si la osteotomía planificada afecta a cualquiera de los orificios sacros anteriores, los nervios sacros que salen a ese nivel son primero disecados y preservados, si es posible. Si la osteotomía debe atravesar el cuerpo de S1 por encima de los orificios no es posible conservar ninguna raíz sacra (188).

Las alas sacras se disecan lateralmente. Los troncos nerviosos se movilizan lateralmente durante la osteotomía. Las raíces L5 (y las contribuciones de L4 al tronco lumbosacro) están cubiertas íntimamente sobre el ala sacra anterior y deben ser identificadas, movilizadas y cuidadosamente protegidas si no están involucradas en la resección (188).

#### *1.6.4.2.1.2. REALIZACIÓN DE OSTEOTOMÍAS ANTERIORES*

En la sacrectomía total se realiza una discectomía L5-S1 y las osteotomías verticales de la articulación sacroilíaca de forma bilateral a través de las alas ilíacas protegiendo las raíces lumbares y los troncos lumbosacros (188).

En la sacrectomía subtotal se realiza una osteotomía transversal a nivel del primer cuerpo sano. El límite proximal de la sacrectomía se identifica guiándose por los forámenes sacros anteriores, realizándose una osteotomía unicortical transversa en esta área, sin lesionar el saco tecal. Algunos autores localizan el nivel de la osteotomía anterior y la marcan con un tornillo para que pueda ser identificado con radiografía simple intraoperatoria desde un abordaje posterior (188).

#### *1.6.4.2.1.3. AISLAMIENTO DEL PLANO ANTERIOR*

Una vez que los procedimientos vasculares y viscerales son completados y las osteotomías son realizadas y se ha terminado la disección del espacio presacro se coloca una lámina de silicona estéril en el plano de disección entre la parte anterior del tumor con su masa presacra asociada y las estructuras ventrales incluyendo los vasos ilíacos, los uréteres y plexos sacros aislándolos de las vértebras lumbares y sacras (188). Esto le da una cierta protección al cirujano durante el abordaje posterior dando un plano de seguridad, disminuye la formación de adherencias entre estas estructuras y ayuda en la realización de la segunda etapa de la cirugía (188).

#### *1.6.4.2.1.4. COLGAJO VRAM Y CIERRE DE LA HERIDA*

En el caso indicado puede liberarse un colgajo VRAM antes del cierre e introducirlo en el abdomen como cobertura posterior en la segunda parte del procedimiento (abordaje posterior). Algunos cirujanos colocan una malla tipo Gore-Tex® en la cara anterior del sacro (188). El cierre de la herida se realiza con puntos sueltos para reducir al mínimo el riesgo de dehiscencia cuando el abdomen cuelga libre durante el abordaje posterior (188).

#### 1.6.4.2.2. ABORDAJE POSTERIOR

Los objetivos del abordaje posterior son la resección del tumor y la reconstrucción.

##### 1.6.4.2.2.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA A RESECAR

La zona que será reseçada se ha localizar de una forma precisa para evitar la contaminación intraoperatoria por violación involuntaria del tumor (188). En el caso de haber colocado un marcador metálico en el abordaje anterior este puede ser visualizado en una radiografía intraoperatoria (188).

##### 1.6.4.2.2.2. DISECCIÓN PROXIMAL Y DISTAL

1. Tras la incisión se levantan los colgajos de piel y de tejido subcutáneo hasta exponer las fibras del glúteo mayor, se abre su fascia y se diseña lateralmente (188).

2. Realizar una incisión sobre la fascia lumbosacra de L5 a S5. Diseñar los músculos paraespinales, semiespinales (en el triángulo multifidus) y seccionar el ligamento sacroilíaco largo posterior, exponiendo los elementos posteriores del sacro. Si estos tejidos están afectados por tumor, los músculos, la fascia, el tejido subcutáneo y la piel deben ser reseçados para obtener márgenes libres del tumor (188).

3. Exponer las crestas ilíacas, los forámenes ciáticos mayores y los nervios ciáticos bilateralmente, junto con la columna lumbar si es necesario (188). Una marca muy útil para algunos autores es la parte posterior de la articulación sacroilíaca que da el punto medio entre los forámenes dorsales de S2 y S3 (188).

4. A continuación se realiza la disección lateral de los músculos piriformes y coccígeos, se seccionan los ligamentos sacrotuberosos y sacroespinosos, protegiendo los nervios y los nervios y vasos pudendos, que se encuentran encima de ellos. También se han de preservar los vasos y los nervios glúteos superiores, localizados en el borde superior del músculo piriforme, y los vasos glúteos inferiores, los nervios ciáticos, pudendos y el nervio fémorocutáneo posterior que abandonan la pelvis en el borde inferior del músculo piriforme. Es muy importante evitar la lesión de los vasos glúteos sobre todo si se planifican colgajos de avance de los glúteos para el cierre (188).

En algunos tumores, como el cordoma, algunos autores recomiendan realizar una resección amplia de los músculos piriformes bilateralmente a causa de la gran recurrencia local en estos músculos (211).

5. Si no se planifica una resección del recto, el ligamento anococcígeo se secciona proximalmente al esfínter anal, permitiendo la entrada en el espacio presacro y la movilización del recto lejos de la superficie del tumor por disección digital roma. El ligamento sacrotuberoso se desinserta de la tuberosidad isquiática, y los músculos coccígeos se cortan. El ligamento sacroespino se secciona mediante una osteotomía de la base de la espina isquiática. Si el recto es incluido con el espécimen, el ano es diseñado circunferencialmente y se secciona el músculo elevador del ano (188).

6. En la parte final inferior de la incisión, se abre el rafe ano-coccígeo y el espacio precoccígeo es diseñado digitalmente. Lo mismo se realiza desde la cara lateral del sacro, en la zona de inserción de los glúteos mayores hacia el espacio presacro (188).

7. Las escotaduras, el nervio ciático y la arteria y venas glúteas deben ser exploradas y protegidas si es posible. El músculo piriforme es una buena marca para identificar el recorrido del nervio ciático (188).

#### *1.6.4.2.2.3. LAMINECTOMÍA, EXPOSICIÓN DE RAÍCES SACRAS Y LUMBARES Y SUTURA DEL SACO TECAL*

La localización de la laminectomía depende de la del tumor. Permite la exposición del saco tecal y la cauda equina a ese nivel. El extremo inferior del saco dural se encuentra a nivel de la vértebra S2. Se pueden visualizar las raíces nerviosas que proceden oblicuamente desde la línea media en una dirección íferolateral. Estas pueden ser movilizadas superiormente y preservadas, lo que permita la extensión del tumor (188). Las raíces nerviosas sacras más altas también pueden ser identificadas en la cara anterior del sacro y ligeramente desplazadas lateral y superiormente a su punto de continuidad con el nervio pudiendo (188). A nivel del foramen de S2 y S3 se puede localizar el nervio pudendo y los vasos que se encuentran luego en la superficie del músculo obturador interno. Si alguna raíz está envuelta en el tumor, debería ser sacrificada.

Si es necesario el saco dural puede ser ligado pasando una sutura doble no reabsorbible alrededor del mismo a nivel de la axila de las raíces más proximales que puedan preservarse (188).

En pacientes con grandes tumores sacros, puede ser necesario exponer y diseccionar los nervios ciáticos bilateralmente.

#### *1.6.4.2.2.4. OSTEOTOMÍAS*

Las osteotomías se pueden iniciar con una fresa de diamante de 5 mm hasta la segunda cortical y posteriormente completarla con una gubia Kerrison. También se puede realizar con otros tipos de sistemas de corte como un osteotomo, una sierra de Gigli, una sierra de Tomita o un bisturí eléctrico de por ultrasonido

##### *1.6.4.2.2.4.1. LOCALIZACIÓN DE LA OSTEOTOMÍA TRANSVERSAL*

Desde el abordaje posterior del sacro es difícil localizar el nivel de osteotomía, incluso empleando un marcador metálico, a pesar de usar radiografías (188). Esto se debe a que el sacro no se dispone en un plano vertical sino en uno inclinado en sentido posterior y además se produce la superposición de los huesos ilíacos adyacentes (188).

Como regla práctica, si la osteotomía se realiza a través del sacro en línea recta inferior a los ligamentos sacroilíacos más bajos se está realizando por debajo de la vértebra S3 (188). Por tanto, a este nivel es seguro realizar una osteotomía en línea recta preservando las raíces a los nervios pudendos bilaterales (S2-S3) (188). Si el tumor es más alto, sin embargo, se tendrán que realizar cortes oblicuos en la articulación sacroilíaca bilateralmente, desde el borde inferior de los ligamentos sacroilíacos, para alcanzar un nivel más alto, dado que las dos primeras vértebras sacras están unidas al hueso ilíaco mediante las articulaciones y ligamentos sacroilíacos (188).

##### *1.6.4.2.2.4.2. LIGADURA DE RAÍCES SACRAS PROXIMALES A LA OSTEOTOMÍA*

Antes de realizar la osteotomía transversal las raíces distales al corte deben ser ligadas y también se ha de evitar lesionar las raíces sacras proximales que atraviesan los forámenes anteriores, que pueden estar en riesgo cuando se cortan los bordes laterales del sacro. Para reducir el riesgo de lesionarlas es aconsejable colocar el osteotomo lo más cercano posible a los forámenes distales. A ese nivel, la raíz proximal se encuentra más lateralizada.

#### 1.6.4.2.2.4.3. RELACIÓN DE LAS OSTEOTOMÍAS Y LAS ESTRUCTURAS VASCULARES Y NERVIOSAS

##### a. OSTEOTOMÍAS PROXIMALES

La sacrectomía es una cirugía técnicamente exigente, especialmente cuando el tumor es proximal a S3, donde estructuras vasculares y raíces nerviosas se encuentran en alto riesgo durante la cirugía (204). Las osteotomías proximales (L5-S1 y S1-S2) presentan un alto riesgo de lesión vascular y nerviosa (204).

En cuanto al riesgo neurológico, la raíz L5 tiene un alto riesgo de lesión, por estar adherida a la cara anterosuperior del sacro, donde se puede seccionar fácilmente, especialmente en presencia de osteofitos anteriores en el cuerpo de L5, al disminuir su movilidad. Por ello, en el caso de una osteotomía de la articulación sacroilíaca Zoccali et al. (204) recomiendan realizar una disección lateral, localizar la raíz L5 en la zona más proximal de la articulación y reseca las apófisis transversas de L5 (204). Recomendamos también realizar la osteotomía con una sierra de Gigli colocándola tan cercana al hueso como sea posible para minimizar este riesgo (204).

En cuanto al riesgo vascular, los vasos ilíacos internos (L5-S1) y los glúteos superiores (S1-S2) presentan un riesgo alto de lesión, sobre todo cuando la ligadura de los vasos ilíacos internos no se ha realizado (204).

##### b. OSTEOTOMÍAS DISTALES

Las osteotomías distales S2-S3 y S3-S4, presentan menor riesgo vascular y de raíces proximales. Son relativamente seguras para los principales vasos y para las raíces S3 y S4. Los vasos glúteos están localizados más proximalmente, por lo que la resección a este nivel es recomendable por vía posterior solo y sin ligadura de los vasos ilíacos internos (204).

Durante la disección distal a S2-S3 se ha de evitar lesionar la arteria glútea superior (204). El procedimiento es más seguro en los casos en los que los vasos ilíacos internos se ligan durante el abordaje anterior (204).

#### 1.6.4.2.2.5. MOVILIZACIÓN Y RESECCIÓN DEL TUMOR

Después de las osteotomías, los músculos y ligamentos coccígeos son seccionados y se realiza una disección roma del tumor en el espacio presacro y el sacro es disecado circunferencialmente. Se ligan las raíces sacras dorsales (188).

El recto es disecado desde su sujeción sacrocóccigea en la zona donde exista un plano libre de tumor mediante una disección roma o cortante en la superficie anterior y lateral del sacro evitando una entrada forzada (188). El recto debe ser disecado con el tumor sacro desde distal hasta el nivel proximal del mismo (188). En el caso de que exista extensión del tumor a nivel anterior, es posible que sea necesario realizar una disección dentro del mesorrecto para maximizar la barrera oncológica (188).

La movilización del sacro debe realizarse craneocaudalmente y con desplazamiento lateral del tumor visualizando las estructuras ventrales. Para liberar el sacro completamente es necesaria la sección de los ligamentos sacroespinosos, sacrotuberosos y anococcígeos (188).

Si el recto está afectado ha de ser resecado concurrente con el tumor y el ano también se ha de reseca y tiene que ser liberado en continuidad con el tumor (188). Si el recto, la escotadura ciática y las raíces nerviosas no están afectadas por el tumor tienen que ser conservados (188).

#### 1.6.4.2.2.6. COLGAJO DE OMENTO Y RECONSTRUCCIÓN DEL SUELO PÉLVICO

En algunos casos puede ser necesario un colgajo de omento y/o la reconstrucción del suelo pélvico.

#### 1.6.4.2.2.7. CIERRE

En caso de prepararse un colgajo miocutáneo o precisar reconstrucción de la estabilidad espinopélvica, se realiza durante la vía posterior antes del cierre.

Antes de cerrar se ha de realizar una hemostasia cuidadosa y se pueden usar grandes piezas de esponjas gelatinosas que se insertan en el plano de disección entre el hueco de la sacrectomía y las estructuras presacras, vasos ilíacos, el plexo sacro, y las vísceras (179).

#### 1.6.4.2.3. RESECCIÓN POR VÍA POSTERIOR SOLA

Sus indicaciones varían según los cirujanos. Algunos la indican solo en tumores caudales a la tercera vértebra sacra. Otros, en tumores que también afectan a S1 o S2 de localización central sin afectación o con una mínima afectación de las articulaciones sacroilíacas y una mínima invasión pélvica (212). En caso de extensión presacra significativa no es adecuada y precisará de un abordaje combinado simultáneo o secuencial (212).

Está contraindicada en presencia de: 1) invasión del recto por el tumor, requiriendo su disección y resección; 2) extensión del tumor más allá del disco L5-S1; 3) afectación de los vasos ilíacos; 4) extensión presacra significativa (212).

Sus principales ventajas son: 1) permitir un acceso fácil a los compartimentos intraespinales e intradurales; 2) permitir la diferenciación entre tumor y tejido nervioso; 3) reducir el número de intervenciones, el tiempo de la cirugía y el riesgo de complicaciones de herida derivadas de la ligadura de las ilíacas internas (194), (195).

Sus principales inconvenientes son: 1) una mayor probabilidad de lesión de vísceras, órganos y vasos mayores durante las osteotomías, (194). 2) un abordaje posterior único excluye el uso del colgajo VRAM para la reparación de un defecto subsecuente.

#### TÉCNICA QUIRÚRGICA (212)

1. El paciente se dispone en decúbito prono.
2. Exposición de la cara posterior del sacro.
3. Se realiza una laminectomía y se identifican las raíces que tienen que ser salvadas. En caso necesario se realiza una discectomía L5-S1.
4. Se liga el saco tecal por debajo de las raíces no afectas.
5. Se debe proteger la arteria y las venas ilíacas y la arteria y vena sacra media mientras que el sacro se aísla del plano anterior.
6. Se realizan las osteotomías laterales y transversa.
7. Se reseca y moviliza el tumor.

#### 1.6.4.2.4. HEMISACRECTOMÍA

La hemisacrectomía generalmente implica la resección unilateral de la articulación sacroilíaca y una porción del ilion junto al hemisacro. Se puede llevar a cabo como parte de una hemipelvectomía más amplia (213), p. ej. cuando el tronco lumbosacro ipsilateral y/o los vasos externos ilíacos son invadidos por tumor (214).

#### TÉCNICA QUIRÚRGICA (213)

1. El abordaje posterior-anterior combinado facilitará la identificación y la protección de los nervios sacros ipsilaterales y el tronco lumbosacro, que se encuentra sobre la cara anterior de la articulación sacroilíaca, seccionando el ilíaco y el sacro sagitalmente con unos márgenes

adecuados (213).

2. En decúbito prono se realiza una incisión posterior vertical media para exponer el aspecto posterior del sacro, curva y lateral y paralela a la cresta ilíaca y el ilion adyacente. Posteriormente, disección de los glúteos hacia la escotadura ciática. Se ha de preservar el nervio ciático y los vasos glúteos. Anteriormente, la elevación subperióstica de los músculos ilíacos y de los psoas exponen la superficie anterior de la articulación sacroilíaca. Los músculos y ligamentos ipsilaterales se disecan (213). Se protegen las estructuras neurovasculares y viscerales (213).

3. El proceso de L5 es resecaado y se realiza una laminectomía sacra (213).

4. Si el saco dural y las raíces nerviosas sacras contralaterales no están invadidas por el tumor y pueden ser disecadas. En caso contrario, las raíces sacras ipsilaterales se ligan y seccionan.

5. En la articulación ipsilateral L5-S1, se secciona la mitad del ligamento longitudinal posterior ipsilateral y la mitad ipsilateral del disco L5-S1 (213).

6. El ligamento anococcígeo, el piriforme, ligamento sacrotuberoso y ligamento sacroespinoso se exponen y se cortan con un margen seguro. El recto se disecciona de forma roma desde la parte de anterior del sacro y se coloca una gasa en el espacio presacro para proteger el sacro. La incisión posterior se cerró temporalmente (213).

7. Posteriormente, en decúbito lateral se realiza un abordaje ilioinguinal y se alarga la incisión en sentido posterior a la línea media. A través de un abordaje retroperitoneal se expone el aspecto anterior del tumor y el sacro, se identifica y protege el uréter ipsilateral, el recto se moviliza hasta la exposición de la gasa empaquetada en el espacio presacro, y la arteria ilíaca interna ipsilateral y los vasos sacros medios se ligan. El aspecto anterior del tumor se expone y se disecciona de los tejidos que lo envuelven (213).

8. Se ligan y cortan los nervios sacros ipsilaterales con un margen seguro del tumor.

9. El tronco lumbosacro ipsilateral es identificado y protegido. La mitad ipsilateral del ligamento longitudinal anterior es seccionado y se realiza una discectomía ipsilateral de la mitad del disco L5-S1 (213).

10. La cara anterior del hueso ilíaco, fue también expuesto y el corte en la línea anterior en el ilíaco fue confirmado (213).

11. Los puntos temporales del aspecto posterior fueron removidos. Los glúteos ipsilaterales son disecados desde el sacro y el ilíaco y la escotadura ciática fue expuesta (213).

12. La línea de corte seguro en el hueso ilíaco ipsilateral se confirma posteriormente. Los vasos y nervios glúteos y el nervio ciático son bien protegidos y el ilíaco es cortado con la sierra de Gigli (213).

13. La línea de corte planificada en la superficie ósea anterior del sacro fue bien expuesta y el sacro, se seccionó sagitalmente a través de un margen de seguridad a lo largo de la línea media o el foramen sacro contralateral utilizando una fresa de la o de sierra de Gigli. A continuación, la muestra se reseca en bloque (213).

## 1.7. RECONSTRUCCIÓN DE LOS TEJIDOS BLANDOS

### 1.7.1. GENERALIDADES

La resección de los tumores sacropélvicos puede suponer grandes defectos de tejidos en el área sacropélvica por una amplia resección de tejidos precisando, en ocasiones, técnicas de cirugía plástica.

El tamaño de la herida quirúrgica no se ha relacionado con el riesgo de complicaciones, pero sí con la extensión de la resección (215). Al plantear las diferentes opciones de reconstrucción se ha publicado que los pequeños defectos pueden ser tratados como úlceras de decúbito sacras usando un colgajo local como uno de rotación del glúteo mayor (215). En las sacrectomías totales, sin embargo, se producen importantes defectos musculares y grandes espacios muertos que conllevan una alta tasa de complicaciones (215), (216), (217). Por ello en estos casos es necesario realizar un cierre sin tensión, con colgajos, disminuyendo el espacio que queda tras la cirugía, cubriendo el material de osteosíntesis posterior y cualquier defecto del suelo pélvico (217). Para este propósito los cierres simples de la línea media sin una obliteración apropiada de los espacios muertos se han asociado con complicaciones como hematoma, seroma, infección, formación de fístulas y obstrucción intestinal. Sin embargo, los colgajos vascularizados locales o distales proporcionan un ambiente bien vascularizado que pueden llenar el espacio muerto y prevenir la infección y/o la dehiscencia posoperatoria. Algunos ejemplos de colgajos son los locales de avance, que incluyen los del glúteo mayor, los de músculos paraespinales y el VRAM (218). Algunos autores han propuesto el uso de matriz dérmica acelular para reconstruir el suelo pélvico y prevenir la herniación posterior del recto (219).

En el año 2000, Miles et al. (215) resumieron su experiencia institucional en la reconstrucción de tejidos blandos en cirugías con grandes defectos sacropélvicos tras una sacrectomía total en un algoritmo que no ha cambiado significativamente desde entonces (Ilustración 47) (216).

Según el algoritmo de Miles et al. (215), en pacientes que no han recibido radioterapia preoperatoria en el área sacra y con los vasos glúteos intactos, debe considerarse el uso de colgajos glúteos de avance. Si presentan los vasos glúteos dañados, sin antecedente de cirugía abdominal previa se indicaría un colgajo VRAM transpélvico.

En pacientes con historia de radioterapia en el área sacra y sin antecedente de cirugía abdominal previa, debe considerarse un colgajo VRAM transpélvico (215).

En caso de no poderse realizar un colgajo VRAM ni de glúteo mayor la única opción sería un colgajo libre de reconstrucción (215).

El colgajo de latissimus dorsi (LD) para cubrir defectos sacropélvicos importantes todavía muestra resultados cuestionables porque es difícil la preparación de los pocos vasos receptores adecuados (215).

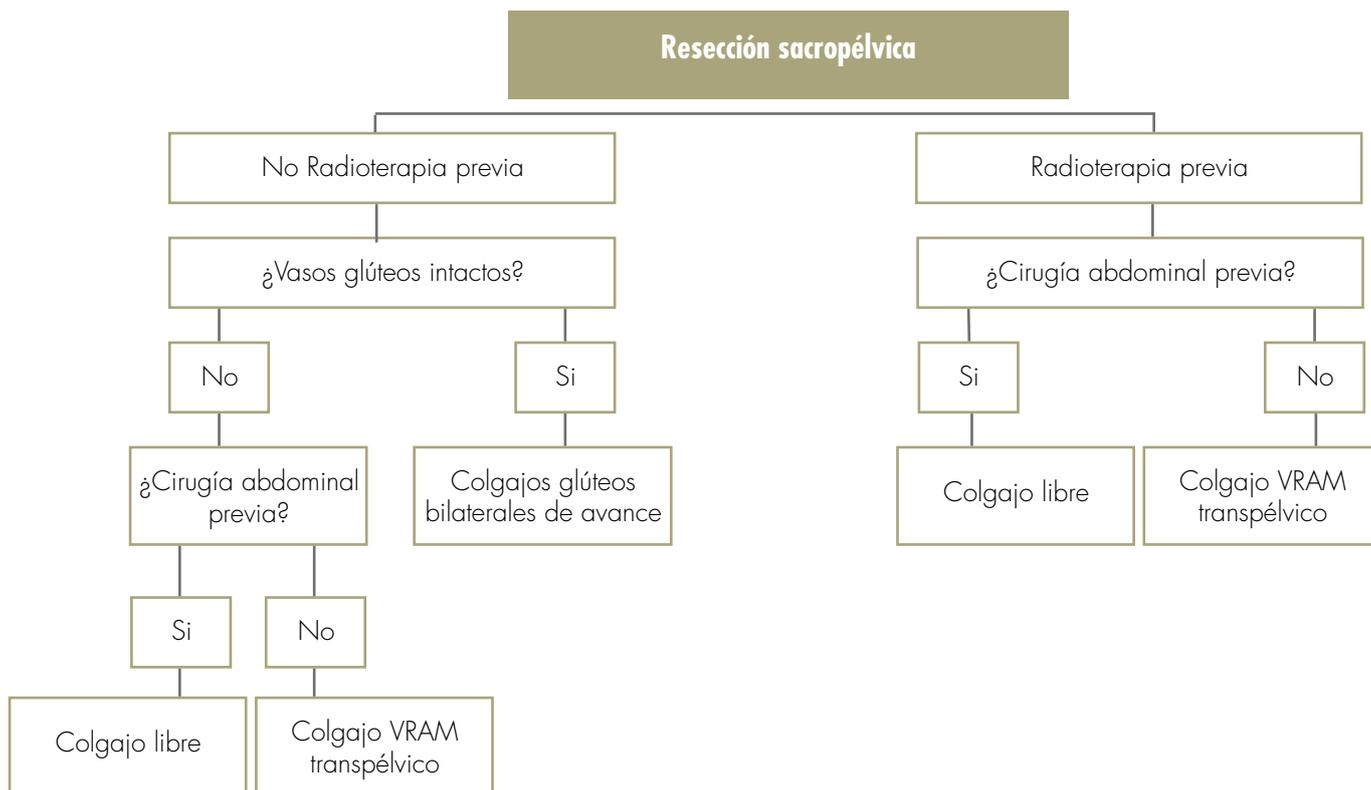


Ilustración 47. Algoritmo de la reconstrucción de tejidos blandos para la resección de tumores sacropélvicos. De acuerdo con Miles et al. (215).

Posteriormente, Garvey et al. (220) publicaron una alta tasa global de complicaciones (44%) que no presentaron asociación significativa con el tipo de colgajo o el volumen del defecto.

## 1.7.2. TIPO DE COLGAJOS

### 1.7.2.1. COLGAJO DE GLÚTEOS

Los colgajos miocutáneos glúteos bilaterales son la primera elección para los defectos de los tejidos blandos lumbosacros, debido a su proximidad al defecto y a la importante irrigación de las arterias íliaca interna, glútea superior y glútea inferior (218). Los diseños del colgajo varían dependiendo de la cantidad de músculo disponible y la viabilidad de los pedículos vasculares restantes (221). Existen muchas variaciones de los colgajos de rotación convencionales, incluyendo el de deslizamiento y el de avance de V-Y (218).

El uso del colgajo glúteo es limitado por la oclusión iatrogénica de los vasos, por la invasión tumoral del músculo o pedículo o la posible resección del músculo glúteo afectado, disminuyendo el volumen de tejido que queda para llenar el espacio muerto resultante (218).

Ramírez et al. (222) objetivaron que los colgajos de músculo glúteo mayor producían una alteración de la función posoperatoria, de la marcha y alteraciones en estudios electromiográficos, objetivando déficits durante actividades de fuerza (correr, subir escaleras) pero no durante las actividades diarias.

En los casos en los que el colgajo tiene un volumen insuficiente como para cerrar grandes defectos –sobre todo en ancianos con una musculatura glútea disminuida–, los colgajos glúteos son inadecuados (215), (223). En esos casos se pueden emplear colgajos regionales del muslo posterior o de LD (215), (224). Se ha recomendado usar el colgajo LD inverso cuando los vasos glúteos no están en contacto o los músculos locales son insuficientes para cubrir el defecto (218).

### **1.7.2.2. COLGAJO VRAM**

El colgajo pediculado VRAM contiene cantidades variables de piel, tejido adiposo y el músculo recto basado en la arteria y vena epigástrica profunda. Puede usarse para reconstruir la pérdida de volumen de los tejidos blandos y la piel cutánea de la región sacra. Sus ventajas son que no requiere técnicas microvasculares y que puede proporcionar una gran área superficial y volumen suficiente para la cobertura de la herida y la obliteración del espacio muerto (218).

El colgajo VRAM oblitera el espacio y previene la herniación posterior del intestino de la cavidad peritoneal a la cavidad posterior del defecto donde, generalmente, se coloca el instrumental (218).

### **1.7.2.3. COLGAJOS LIBRES**

Los colgajos libres son, en general, los de menor calidad por el estado de sus vasos, los cuales son de pequeño diámetro, cortos o anatómicamente difíciles de acceder. Si existe una lesión de las arterias glúteas superior e inferior por radiación, cirugía o embolización, se pueden usar los vasos tóraco dorsales y femorales. Para defectos sacros grandes el uso de un colgajo libre de dorsal ancho se prefiere respecto.

Gaster et al. (225) abogaron por el uso de un colgajo VRAM de transferencia libre como una opción con suficiente volumen y área para cubrir grandes heridas sacras sin la necesidad de colgajos regionales adicionales. Sin embargo, los colgajos libres son el último recurso para la cobertura de defectos de sacrectomía y no deben usarse si se dispone de colgajos locales o regionales (218).

### **1.7.2.4. OMENTO**

El omento se utiliza para reparar defectos complejos porque proporciona una capa adicional de tejido muy vascularizado, con su capacidad de absorción, disminuyendo la colección de fluidos, aumentando la formación de tejido adherente, protegiendo de la infección, y la lesión de la radioterapia y un aumento de la cicatrización del espacio muerto (223), (226), (227), (228). El uso del omento puede estar limitado en pacientes con múltiples cirugías abdominales en los que existe una lesión del mismo (223). La principal desventaja es que es necesario un abordaje anterior para realizarlo. Está contraindicado en caso de radioterapia abdominal previa o resección de tejido abdominal o de obesidad mórbida. Se han descrito complicaciones como la dehiscencia de herida, el seroma, la infección de herida profunda, fístula quilosa, íleo, hernia ventral y absceso presacro (223), (229).

## 1.8. RECONSTRUCCIÓN DE LA ESTABILIDAD ESPINOPÉLVICA

### 1.8.1. INTRODUCCIÓN

#### 1.8.1.1. CONSECUENCIAS MECÁNICAS DE SACRECTOMÍA E INDICACIONES DE LA RECONSTRUCCIÓN ESPINOPÉLVICA

La integridad del anillo pélvico, de la unión lumbosacra y lumbopélvica y la estabilidad sacroilíaca tras la resección sacra se han relacionado directamente con la extensión de la misma (230), (231), (232).

Gunterberg y Stener (230) objetivaron que la resección de 1/3 de la articulación sacroilíaca disminuía la resistencia del anillo pélvico en un 30% y la resección de más del 50% de la articulación sacroilíaca provocaba una inestabilidad lumbopélvica. Hugate et al. (231) objetivaron que la sacrectomía por encima de la unión S1-S2 producía una inestabilidad espinopélvica, debiendo considerar la reconstrucción espinopélvica. Asimismo, Yu et al. (232) objetivaron que la sacrectomía transversa parcial por encima de S1 podía dar una inestabilidad, y por encima de la mitad del cuerpo de S1 también daba una inestabilidad a las fuerzas de compresión. Recomendando realizar una reconstrucción cuando la sacrectomía era a nivel o por encima de la mitad del cuerpo de S1.

La sacrectomía total, supone importantes defectos óseos y ligamentosos que conlleva una disociación completa de la columna móvil y la pelvis, alterándose la transferencia de cargas entre ellas produciendo una inestabilidad lumbopélvica vertical y rotacional en todos los planos pudiendo ocasionar dolor y compresión de vasos sanguíneos y/o vísceras al realizar movimientos cotidianos como pasar de la bipedestación al decúbito (197). Todavía no se han publicado estudios biomecánicos para determinar las cargas y la estabilidad tras una sacrectomía total.

Basándose en los resultados de estudios biomecánicos previos (231), (233), (232) la estabilización lumbopélvica debe considerarse en las siguientes cirugías sacras: amputación sacra alta, sobre los forámenes de S1, sacrectomía total, sacrectomía total extendida y en casos de tumores de sacro excéntrico cuando afecte a la articulación sacroilíaca solo en un lado (234), (235), (236).

La mayoría de cirujanos recomiendan la reconstrucción espinopélvica tras una sacrectomía total o proximal alta por la inestabilidad asociada a una disociación completa de la columna móvil con la pelvis que puede causar dolor y compresión de vasos sanguíneos o vísceras al realizar movimientos simples como pasar de posición vertical a una supina (197). Consideran que es necesaria para alcanzar una estabilización adecuada para iniciar una movilización precoz, una mejor deambulacion e incorporación a sus actividades de vida diaria (19), (194), (237), (238).

Algunos profesionales prefieren no realizar reconstrucción tras una sacrectomía por su alta tasa de complicaciones mayores, sobre todo de herida (principalmente infección de herida profunda). Afirman que tras la sacrectomía total la columna lumbar se desplaza inferiormente y se mantiene entre los ilíacos y los músculos y el tejido fibroso y cicatricial que se forma entre la pelvis y la columna vertebral forman una banda biológica, que estabiliza la pelvis y permite la deambulacion, sin que esta mejore con la estabilización (239), (240). Además, estos cirujanos afirman que el estado de deambulacion del paciente no mejora con la estabilización y/o el aporte de hueso.

#### 1.8.1.2. OBJETIVO DE LA RECONSTRUCCIÓN

El principal objetivo de la reconstrucción espinopélvica es mejorar la estabilidad lumbosacra proporcionando una fusión y una estabilidad mecánica en los tres planos del espacio para disminuir el dolor local, conseguir una deambulacion precoz y sin restricciones, mejorando la calidad de vida.

A pesar de los avances en la cirugía reconstructiva tumoral la reconstrucción lumbopélvica sigue siendo un problema difícil no resuelto. La anatomía de esta región, un hueso de mala calidad y la falta de disponibilidad de puntos de anclaje estables para la instrumentación dificultan la reconstrucción (241). El aumento de la supervivencia de los pacientes tumorales hace necesaria asegurar la estabilidad de la reconstrucción a largo plazo. Actualmente, la tasa de complicaciones y de fallo de los implantes es alto (241).

Para lograr un manejo eficaz de la inestabilidad se han de tener en cuenta: la preservación del equilibrio sagital, la preservación de la función neurológica, la adquisición de estabilidad a corto plazo por la fijación interna y la obtención de la estabilidad a largo plazo.

## **1.8.2. TIPOS DE RECONSTRUCCIÓN DE LA ESTABILIDAD ESPINOPÉLVICA**

### **1.8.2.1. INTRODUCCIÓN**

En la evaluación de la inestabilidad de la región lumbosacropélvica participan la columna lumbar anterior, la transmisión de la carga axial de la pelvis, la banda de tensión posterior y la competencia del anillo pélvico. De ello deriva que las técnicas de estabilización espinopélvica tras una sacrectomía total incluyan tres tipos de reconstrucciones que se pueden combinar entre sí: fijación espinopélvica (FEP), fijación posterior del anillo pélvico (FPAP) y soporte anterior de la columna lumbar (SACV) (237). Estas reconstrucciones se pueden combinar entre sí. Bederman et al. (237) en la única revisión sistemática publicada de las técnicas de reconstrucción de la unión espinopélvica en la sacrectomía total objetivaron que la FEP se realizó en todos los casos (43 pacientes), con alguna fijación adicional: 1 paciente con SACV, 34 (79,1%) con FPAP adicional y 8 (18,6%) recibieron SACV y FEP. 9 pacientes recibieron SACV (20.9%), en general.

Se han publicado múltiples técnicas de fijación espinopélvica y se han creado procedimientos para la FPAP y de SACV para aumentar la rigidez de la reconstrucción y disminuir el riesgo de fallos relacionados con el material. Sin embargo, existe muy pocos estudios realizados al respecto.

### **1.8.2.2. TÉCNICAS DE RECONSTRUCCIÓN**

#### **1.8.2.2.1. FIJACIÓN ESPINOPÉLVICA**

En la FEP las técnicas que se han empleado más frecuentemente son barras intrapélvicas, construcciones con ganchos y barras y tornillos pediculares e ilíacos unidos a barras (237).

##### *1.8.2.2.1.1. INSTRUMENTACIÓN DE HARRINGTON*

En los años 60, la instrumentación de Harrington (242) fue popularizada y considerada como el patrón de oro para el tratamiento de la escoliosis en la siguiente década. Consistía en ganchos a distracción y barras a compresión. Posteriormente, para prevenir el problema del arrancamiento de los ganchos en el sacro se desarrolló la barra sacra. A pesar de ello, se asoció a altas tasas de pseudoartrosis y fallos de instrumental por una falta de rigidez en la unión lumbosacra (243).

##### *1.8.2.2.2.1.2. INSTRUMENTACIÓN DE LUQUE*

En los años 70, la instrumentación de Luque (244) fue popularizada y siendo el patrón de oro en el tratamiento de la escoliosis en la siguiente década. Este sistema introdujo el concepto de instrumentación segmento a segmento con puntos de fijación con alambres sublaminares y ganchos cefálicos y caudales unidos a una barra de Luque o de Harrington de 6,4 mm. Luque desarrolló la barra en L, cuyos extremos curvos prevenían su migración penetrando en la cresta ilíaca para la fijación pélvica (244). A pesar de que permitió una corrección de las deformidades en plano sagital y coronal biomecánicamente no proporciona estabilidad en flexión, rotación y lateralización de la columna lumbosacra, describiéndose una alta tasa de pseudoartrosis (41%) y complicaciones (245), (246).

A pesar de que posteriormente, King et al. (247) modificaron este sistema para disminuir las tasas de fracaso distal y pseudoartrosis, estas se mantuvieron altas.

### 1.8.2.2.1.3. INSTRUMENTACIÓN DE COTREL-DUBOUSSET

En los años 80, se desarrolló el sistema de Cotrel-Dubousset que usaba numerosos puntos de fijación proximalmente con ganchos y caudalmente, en la columna lumbosacra, tornillos pediculares monoaxiales (248).

Aunque este sistema proporcionaba más rigidez que sus predecesores, la fijación a sacro seguía proporcionando una baja resistencia a las fuerzas de flexión en la unión lumbosacra, sobre todo en la corrección de la deformidad de adultos, presentando tasas de pseudoartrosis de hasta el 33% y de complicaciones de la instrumentación de un 70% (249).

### 1.8.2.2.1.4. TÉCNICA DE GALVESTON

#### 1.8.2.2.1.4.1. TÉCNICA ORIGINAL DE GALVESTON (GT)

La técnica original de Galveston (GT) fue inicialmente descrita para su uso en la cirugía de la escoliosis neuromuscular con oblicuidad pélvica (250). Consistía en pares de barras contorneadas que eran introducidas en las espinas ilíacas pósterosuperiores y se extendían entre las corticales del ilion por encima de la escotadura ciática a una distancia de 6-8 cm y se unían a alambres sublaminares para su sujeción a la columna lumbar (Ilustración 47 a). No obstante, estas construcciones no proporcionaban una estabilidad torsional ni resistencia a la extensión suficiente (251), objetivando el aflojamiento de las barras en su trayecto ilíaco obligando a los cirujanos a reemplazarlas por tornillos ilíacos largos (252).

#### 1.8.2.2.1.4.2. TÉCNICA DE GALVESTON MODIFICADA (MGT)

Posteriormente, se publicó la técnica de Galveston modificada (mGT) (253) donde se colocan tornillos pediculares bilaterales en L3, L4 y L5, 2 barras unidas a tornillos ilíacos y 2 ó 3 conectores transversales para fijar una barra a la otra (Ilustración 48 b). Algunos cirujanos también añadían una barra transilíaca para prevenir la rotación axial de la unión lumbopélvica. Este procedimiento ha sido empleado ampliamente. Estudios biomecánicos mostraron el efecto beneficioso de usar tornillos ilíacos dobles independientemente de su orientación (Ilustración 48 c y d) (254), (255).

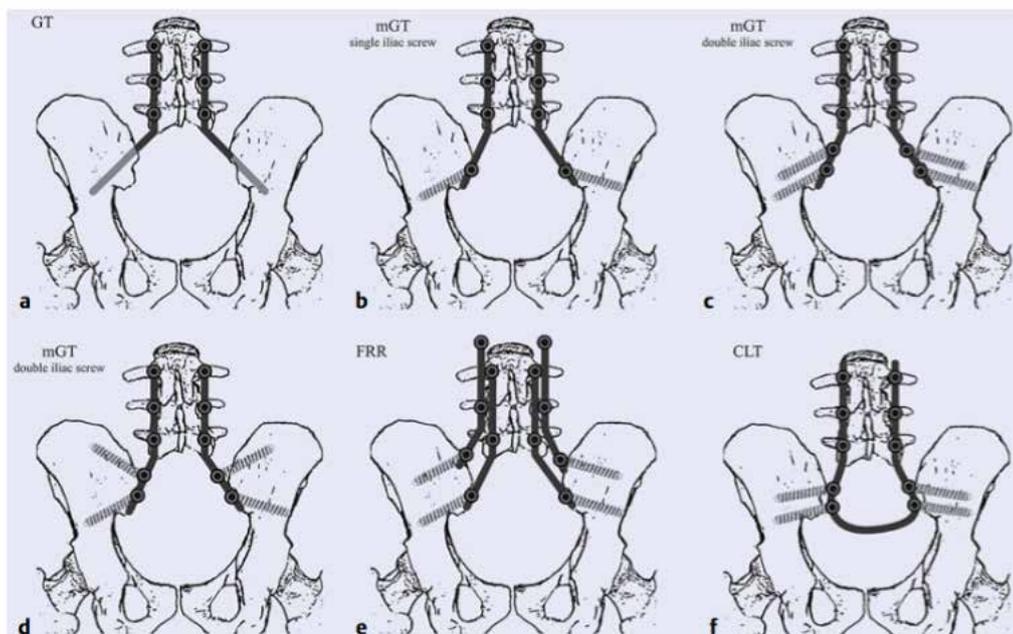


Ilustración 48. Técnicas de FEP. (a) Técnica de Galveston (GT); (b) Técnica de Galveston modificada (mGT) con tornillo ilíaco simple bilateral; (c) Técnica Galveston modificada (mGT) con doble tornillo ilíaco paralelo; (d) Técnica Galveston modificada (mGT) con doble tornillo ilíaco divergente; (e) Técnica con 4 barras (FRR); (f) Técnica CLT. Tomado de Varga et al. (256)

Respecto a las técnicas anteriores la mGT presentaba ventajas como el restablecimiento del anillo pélvico, poseer un brazo de palanca largo dentro del ilion para contrarrestar las fuerzas ejercidas por la columna lumbar y una mayor superficie de carga en la pelvis (253), (257). No obstante, la mGT no resiste óptimamente las fuerzas axiales concentrando las máximas tensiones en la zona de transición entre los tornillos pediculares de L5 y la porción ilíaca de las barras de Galveston describiéndose altas tasas de fallo de instrumental (238), (253), (257).

Posteriormente, otros autores publicaron artículos en los que describían técnicas de reconstrucción evolucionadas a partir de la utilización de sistemas de mGT, tornillos pediculares con conexión transversal para restablecer la conexión entre los dos ilíacos del anillo pélvico (82), (258), (259), (260).

#### *1.8.2.2.1.4.3. TÉCNICA CON CUATRO BARRAS (FRR, FOUR-ROD RECONSTRUCCION)*

La técnica con FRR es una modificación de mGT descrita por Shen et al. (261) y Kelly et al. (262) que consiste en una fijación lumbar con tornillos pediculares, 2 tornillos ilíacos bilaterales divergentes y 4 barras, 2 en cada lado, colocadas de forma paralela (Ilustración 48 e). Así, esta reconstrucción proporciona 4 anclajes divergentes en pelvis (261).

Estudios posteriores mostraron que las construcciones con múltiples barras en pacientes proporcionan una mayor estabilidad en osteotomías de las tres columnas y de escoliosis idiopáticas del adolescente (263), (264), reduciendo significativamente las tensiones de las barras primarias, disminuyendo las tasas de fracaso del implante y de pseudoartrosis en comparación con construcciones con barras simples en flexo-extensión y flexión lateral. En los estudios del uso de FRR en pacientes afectos de sacrectomías totales se observó que aumentan la rigidez en la zona L5-pelvis en flexión y extensión, favoreciendo la fusión ósea (262).

Además, permite la rotura de una barra a cada lado sin la necesidad de reintervenir. No obstante, aunque se produce un aumento de la rigidez de la reconstrucción también se asocia a complicaciones con la herida debido al gran número de implantes (265).

#### *1.8.2.2.1.5. TÉCNICA DE BUCLE CERRADO (CLT, CLOSED LOOP TECHNIQUE)*

Varga et al. (211) publicaron la técnica del bucle cerrado (CLT) que consistía en usar una barra en forma de U para unir los tornillos pediculares de L3, L4 y L5 bilateral y tornillos ilíacos dobles bilateral con el fin de obtener una mejor distribución de cargas a lo largo de la construcción (Ilustración 48 f). Según Varga et al. (216), este método aplica la filosofía de la fijación no rígida para permitir una cierta movilidad y promover la fusión ósea entre el cuerpo vertebral lumbar y la pelvis. No obstante, no se han publicado estudios sobre los resultados de esta técnica.

#### *1.8.2.2.2. FIJACIÓN POSTERIOR DEL ANILLO PÉLVICO*

La fijación posterior del anillo pélvico (FPAP) es una estabilización adicional a la FEP que conecta los dos ilíacos previniendo su rotación. Puede ser realizada con barras sacras y transilíacas, placas, aloinjertos estructurales y cajas (237). Se han publicado también otras técnicas en las que se emplea junto FEP como la reconstrucción con marco triangular (TFR) (266) y la publicada por autores del Hospital Johns Hopkins (JHH) (259) (Ilustración 48).

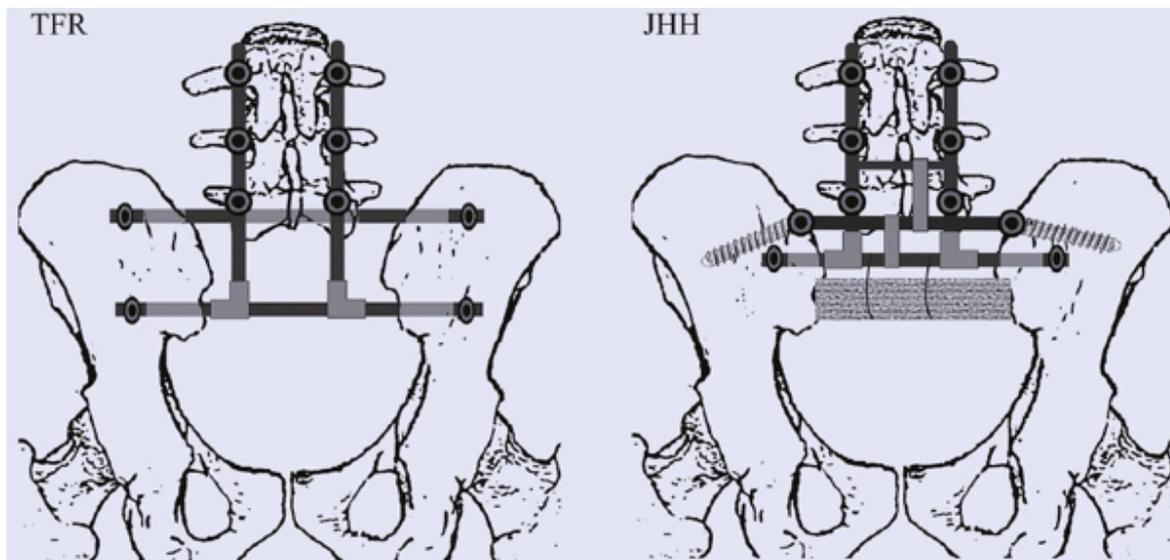


Ilustración 49. Métodos de FPAP (a) Técnica de marco de reconstrucción triangular (TFR); (b) Técnica de los autores Hospital Johns Hopkins (JHH). Tomado de Varga et al. (256)

#### 1.8.2.2.2.1. BARRA TRANSILÍACA

La barra transilíaca ha sido incorporada en diferentes modelos de reconstrucción. Sus ventajas son que el injerto óseo colocado entre las alas ilíacas pudiendo ser comprimido y que la barra puede dar estabilidad alrededor del eje horizontal de la columna y evitar la rotación alrededor de este eje (267).

#### 1.8.2.2.2.2. TÉCNICA DE MARCO RECONSTRUCCIÓN TRIANGULAR (TFR, TRIANGULAR FRAME RECONSTRUCTION)

La TFR fue publicada por Murakami et al. (266). Consiste en la FEP con tornillos pediculares de L3 a L5, una barra horizontal que une el cuerpo vertebral de L5 a las dos alas ilíacas, descendiendo la columna lumbar aproximándola a la pelvis, y otra barra horizontal que une la parte más inferior de los dos ilíacos (Ilustración 48 a). En los estudios biomecánicos se observó que a pesar de que el instrumental producía una buena distribución de las cargas, se producía una alta tensión tanto en barras como en hueso cortical de la pelvis, pudiendo producir una alta tasa de fallo y pérdida de implantes (238), (266).

#### 1.8.2.2.2.3. TÉCNICA DE DOBLES BARRAS TRANSILÍACAS (JHH, Johns Hopkins Hospital)

En 2005 Gallia et al. (259) publicaron una modificación de la técnica mGT añadiendo una barra transilíaca, un conector entre barras verticales y aloinjerto horizontal de fémur entre las dos crestas ilíacas. Las diferentes partes de la construcción fueron unidas por varios conectores. De esta forma, la fuerza de transmisión se producía en la pelvis en 2 puntos diferentes (Ilustración 48 b).

Posteriormente Gallia et al. (268) describieron la técnica de doble barra transilíaca utilizando un sistema FEP, 2 barras transilíacas, injerto óseo de hueso femoral, una caja anterior distraíble y una barra.

#### 1.8.2.2.3. SOPORTE ANTERIOR DE LA COLUMNA VERTEBRAL

El SACV es una tercera dimensión de la estabilización espinopélvica que disminuye la tensión en los implantes posteriores. La fijación posterior sola, sin SACV, no proporciona un buen reparto de cargas tras una sacrectomía total (237), (269), (270), lo que supone mayores tasas de fallo de reconstrucción en pacientes que no reciben reconstrucción anterior (237).

Las estrategias de reconstrucción de la columna anterior. Incluyen tornillos iliolumbares, injertos de peroné, malla de titanio, cajas expansibles, etc. (237) Sin embargo, algunos autores han publicado que estas estrategias de reconstrucción son técnicamente difíciles y requieren de un tiempo quirúrgico más largo y suponiendo una mayor morbilidad del paciente (269), (271).

#### 1.8.2.2.3.1. RECONSTRUCCIÓN CON BARRA SACRA (SRR, SACRAL ROD RECONSTRUCTION).

Kawahara et al. (238) en 2003 publicaron una nueva técnica donde se emplearon tornillos pediculares de L3-L5 y tornillos ilíacos simples bilaterales, unidos a una barra sacra que conecta los dos ilíacos y al cuerpo vertebral de L5 a través de dos tornillos. La adición de los tornillos en el cuerpo vertebral de L5 demostró aumentaba la rigidez en torsión de la columna lumbosacra (238) (Ilustración 50 a). En el estudio con cadáver de Cheng et al. (269) objetivó que en comparación con la mGT y TRF presentaba menores tensiones tanto en la instrumentación como en elementos óseos presentando menor riesgo de fallo teórico.

#### 1.8.2.2.3.2. RECONSTRUCCIÓN CON INJERTOS DE PERONÉ BILATERAL (BFFR, BILATERAL FIBULAR FLAP RECONSTRUCTION) (197).

En 2005, Dickey et al. (197) publicaron el uso de injertos de peroné bilaterales para el soporte de la columna anterior. La reconstrucción consta de tornillos pediculares de L3 a L5 y tornillos ilíacos simples bilaterales, unidos por dos barras, 1 barra transilíaca y la reconstrucción de la columna anterior se produce con 2 injertos de peroné desde el platillo inferior de L5 a las líneas iliopectíneas de la pelvis. Esta reconstrucción permite que las cargas axiales sean transmitidas directamente desde la parte inferior de la columna lumbar a las articulaciones coxofemorales (Ilustración 50 b y c).

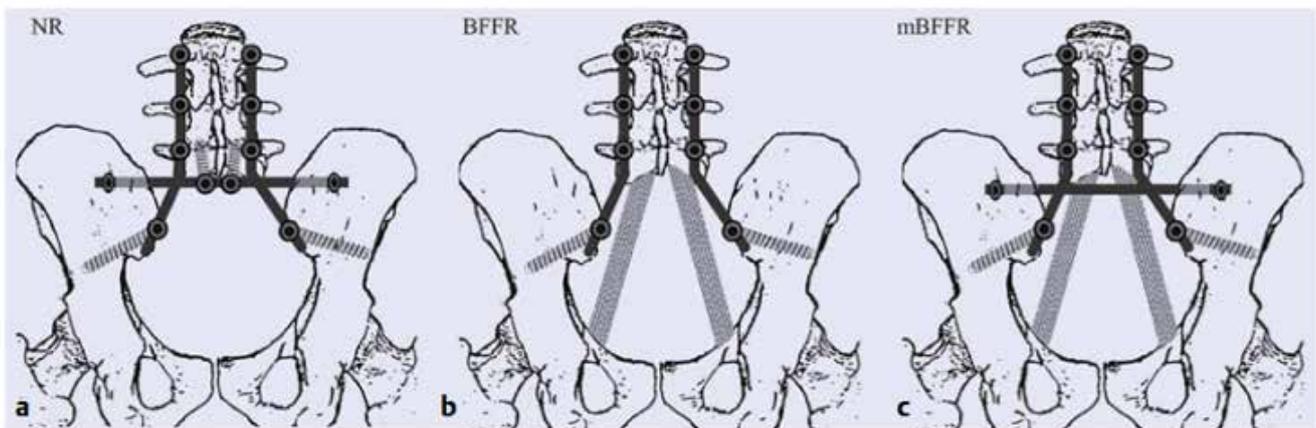


Ilustración 50. Técnicas de SACV combinadas con FEP Y PFAF. (a) Reconstrucción con barra sacra (SRR); (b) Reconstrucción con injertos de peroné bilateral (BFFR); (c) Reconstrucción con injertos de peroné bilateral modificada (mBFFR). Tomado de Varga et al. (256)

#### 1.8.2.2.3.3. RECONSTRUCCIÓN DE COMPUESTOS MEJORADA (ICR, IMPROVED COMPOUND RECONSTRUCTION)

En 2011 Cheng et al. (269) publicaron una técnica de reconstrucción mejorada (ICR) que emplea la técnica de 4 barras y un soporte anterior formado por dos tornillos en el platillo inferior de L5 unidos a una barra horizontal transilíaca y una construcción triangular con dos injertos de peroné entre el platillo inferior de L5 a ilíacos (Ilustración 51). Posteriormente, Mindea et al. (272) publicaron una técnica ICR modificada empleando 2 barras en vez de 4 obteniendo tendencias similares.

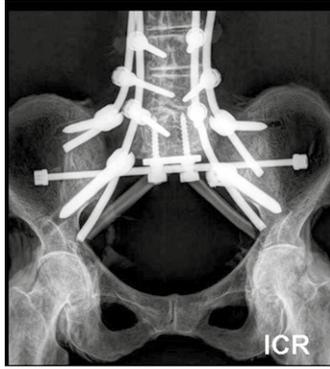


Ilustración 51. Estructura ICR. Tomado de Cheng et al. (269)

Tanto en BFFR como en ICR, se emplean injertos triangulares de peroné como apoyo anterior a la columna lumbar. Cheng et al. (269) al comparar BFFR e ICR con reconstrucciones sin este apoyo anterior (SRR y FRR) objetivaron que las primeras proporcionaban más estabilidad al sistema, siendo ICR la que más disminuía la rotación y el desplazamiento de L5 fue la mitad del BFFR (269).

#### 1.8.2.2.3.4. CAJAS

Clark et al. (273) realizaron un estudio de fatiga en compresión y flexión en 15 especímenes cadavéricos L3-pelvis sometidos a una sacrectomía total comparando 3 sistemas de reconstrucción de la columna anterior. Todos los especímenes fueron instrumentados con tornillos pediculares de L3 a L5 y 2 tornillos ilíacos de forma bilateral, 2 barras horizontales entre los tornillos ilíacos y las barras conectadas por 2 conectores. Se compararon 3 técnicas de reconstrucción:

- 1) Aloinjerto de fémur entre los 2 ilíacos, y unido a L5 e ilíacos mediante tornillos AO.
- 2) 2 cajas de titanio colocadas de forma oblicua, desde el platillo inferior de L5 hasta los ilíacos, y aseguradas con tornillos AO.
- 3) Una caja expansible reemplazando el cuerpo de S1 colocada y expandida sobre el platillo de L5 y una barra transilíaca.

Demostaron que las 2 cajas de titanio y la caja expansible proporcionaron construcciones más estables que el aloinjerto de fémur en flexo-extensión y que la caja expansible fue la significativamente más resistente (273).

#### 1.8.2.2.3.5. TORNILLOS LUMBO-SACRO-ILÍACOS PERCUTÁNEOS (LSI)

Le et al. (271) realizaron el único estudio de cadáver para evaluar la eficacia biomecánica de la FEP estándar complementada con tornillos LSI percutáneos objetivando que no presentaban una mayor estabilidad que la FEP sola en la compresión axial (Ilustración 52). Presentan ventajas: proporcionan un soporte anterior de la columna en la unión espinopélvica sin prolongar el tiempo quirúrgico y un abordaje poco traumático (percutáneo) (271).

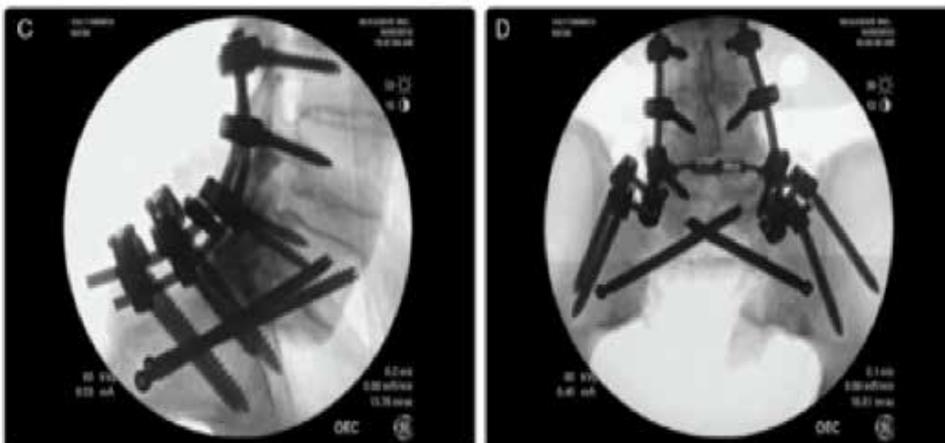


Ilustración 52. Fluoroscopia de la reconstrucción con tornillos LSI percutáneos. Tomado de Le et al. (271)

### 1.8.2.2.3.6. PRÓTESIS A MEDIDA

Solo existe un artículo publicado con un solo caso en el que se empleó una prótesis hecha a medida para restablecer la unión espinopélvica tras una sacrectomía total y parte de las alas ilíacas, en una paciente de 40 años con un osteosarcoma de sacro y pelvis (274). La prótesis constaba de cinco piezas de titanio (Ilustración 53): 1) Una placa en forma de L que cubría y seguía los contornos de los cuerpos vertebrales de L5 ventralmente con un labio dorsal que cubre la superficie del platillo de L5; 2) Una brida del ala ilíaca, diseñada para cubrir la parte exterior y externa del ala ilíaca derecha; 3) Parte central con conexiones para la fijación firme de los dos módulos anteriores y una brida de anclaje para cubrir y conectar la parte anterior restante del ala ilíaca izquierda (274).

Los autores publicaron una buena evolución de la paciente a los 3 años de la cirugía, estando libre de enfermedad y realizando deambulación en casa autónoma, a cortas distancias con muleta y fuera de casa con silla eléctrica. No se observaron signos de aflojamiento ni de complicación del instrumental y presentaron signos de fusión ósea en pelvis (274). No obstante, no se han publicado más casos similares.

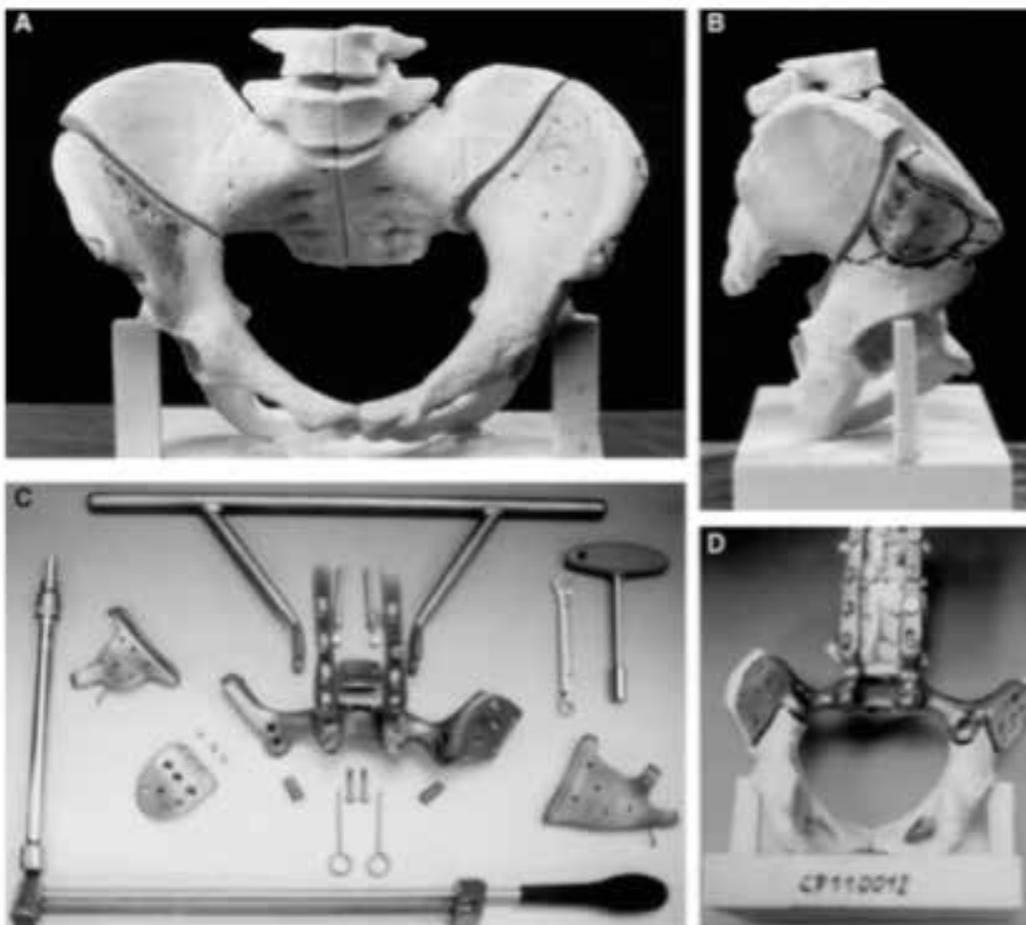


Ilustración 53. Prótesis a medida (274).

### 1.8.2.3. COMPLICACIONES DE LA INSTRUMENTACIÓN

En la revisión bibliográfica destaca una carencia de estudios que traten sobre las complicaciones de la instrumentación. Las complicaciones que se han descrito son el aflojamiento, prominencia de implantes, pseudoartrosis y complicaciones de herida e infección. El estudio de Bederman et al. (237) mostró que el 27,9% de pacientes (12 de 43) precisaron cirugías de revisión por fallo.

### 1.8.2.4. INJERTO ÓSEO EN LA RECONSTRUCCIÓN

Para que el paciente sometido a una sacrectomía total pueda tolerar la carga del cuerpo y la deambulación son necesarias la reconstrucción del anillo pélvico y la reducción del espacio entre la columna y la pelvis. Esto no solo se logra con la instrumentación de la columna, sino con el injerto óseo y la aproximación de las superficies óseas (256). La mayoría de métodos de reconstrucción espinopélica descritos emplean injerto óseo no estructural para rellenar el hueco entre la vértebra caudal y los ilíacos, zona de transmisión de cargas, que favorecen la fusión ósea (256). En la mayoría de estos pacientes se emplea aloinjerto en forma de hueso esponjo y chips óseos morsalizados porque la cantidad de injerto autólogo local libre de enfermedad suele ser limitada (256).

Los injertos óseos vascularizados no se suelen emplear para grandes defectos creados por la resección en bloque de sacro (256). Los aloinjertos no vascularizados se han utilizado para la reconstrucción de las sacrectomías totales. Sin embargo, en caso de irradiación o recurrencia tumoral, los injertos óseos no vascularizados pueden aumentar significativamente el riesgo de infección y de retraso de consolidación. Se han empleado para defectos pequeños del esqueleto, pero no son adecuados para grandes defectos creados por la resección en bloque del sacro. En estos casos, se recomiendan injertos con una longitud y resistencia apropiadas, esto se cumple en los injertos óseos vascularizados. Estos, además, promueven la fusión (256).

El principal objetivo del autoinjerto vascularizado es la reconstrucción inmediata del suministro de sangre fisiológico de las células del injerto para mantener su viabilidad. Entre los vascularizados (tanto pediculados como libres), el peroné vascularizado es el más utilizado. El injerto libre ilíaco pediculado con la arteria circunfleja profunda es otro de los más frecuentemente empleados (256).

Los autoinjertos óseos vascularizados se han utilizado para facilitar la curación ósea en caso de pseudoartrosis y falta de unión y en grandes defectos óseos en traumatismo o de tumores (275), (276), (277). Han demostrado ser eficaces en pacientes con una baja capacidad para la cicatrización, como pacientes que reciben quimioterapia (275), (276), (278). Se han recomendado para reconstrucción unilateral del anillo pélvico en casos de iliectomía parcial (279). Se han descrito varios tipos de colgajos óseos vascularizados para la reconstrucción pélvica. Oshima et al. (280) describieron el uso de injerto de hueso ilíaco con la arteria ilíaca circunfleja profunda para rellenar un defecto pélvico. Yamamoto et al. (281) publicaron un colgajo óseo vascularizado del fémur para la restauración del anillo pélvico después de la amputación de la extremidad inferior. Choudry et al. (282) publicaron un caso de reconstrucción del anillo pélvico con 2 colgajos de peroné libre vascularizado bilaterales.

El peroné vascularizado ha sido utilizado en múltiples áreas incluyendo la pelvis, columna vertebral, fémur y húmero. En general, se ha empleado en forma de injerto libre (283), (284), (279). Yajima y Tamai (285) publicaron 2 casos de reconstrucción pélvica y Sakuraba et al. (279) 5 casos de hemipelvectomía tipo I y II cuyos defectos fueron reconstruidos con colgajos de peroné, éxito en 4 pacientes y logrando deambulación autónoma en 3 pacientes. Nagoya et al. (286) reportaron 4 casos, defectos totales o casi totales por hemipelvectomía que fueron reconstruidos con colgajos de peroné vascularizado. 3 de los 4 pacientes desarrollaron una unión ósea en un máximo de 14 meses después de la cirugía. En esta serie se informó que los pacientes no tenían dolor y fueron capaces de deambular de forma independiente.

Los colgajos pediculados de peroné son relativamente recientes y se han empleado en diferentes áreas. Starantzis et al. (196) publicaron su uso en pelvis. Este procedimiento precisa de la preservación de la arteria peronea, poplítea, femoral y la ilíaca externa y por tanto es adecuada para su uso junto a un colgajo VRAM, que es un colgajo pediculado que precisa la preservación de la arteria ilíaca externa. El método está limitado por ciertos factores que, relacionados con el suministro rescatable vascular, la calidad de los vasos, y algunos problemas técnicos, tales como el tamaño del peroné. Con respecto a la fuente de la sangre, se prevé que la vía vascular desde la aorta a la arteria peronea debe ser salvable y no debe ser involucrado en una resección oncológica. Eso significa también, como se mencionó anteriormente, que un colgajo VRAM debe ser utilizado y no debe haber ninguna contraindicación, como tumor o extensión extensa de radiación de la piel.

## 1.9. RESULTADOS CLÍNICOS DE LA SACRECTOMÍA

Los resultados clínicos en las cirugías de resección sacropélvica pueden ser valorados en tres dimensiones:

1. Resultados quirúrgicos, en forma de complicaciones intraoperatorias y posoperatorias.
2. Resultados oncológicos, en forma de recurrencia local y supervivencia.
3. Resultados funcionales, en forma de discapacidad y dolor.

### 1.9.1. RESULTADOS QUIRÚRGICOS

#### 1.9.1.1. INTRODUCCIÓN

Las sacrectomía en bloque es un procedimiento largo y técnicamente complejo por la localización, tamaño del tumor y sus relaciones anatómicas (188). Además, tras la resección del sacro pueden quedar una gran cavidad susceptible de infección y una importante inestabilidad (188).

Solo existe un estudio que trate exclusivamente las complicaciones de la sacrectomía en bloque, pero su tamaño de muestra es pequeño (16 pacientes) (287), que reportaron que la sacrectomía en bloque se asociaba a un alto número de complicaciones y de readmisiones e intervenciones secundarias. No obstante, son necesarios estudios más amplios que analicen las complicaciones.

Entre las complicaciones mayores las más frecuentes son la infección de herida profunda y los fallos de reconstrucción de la estabilidad espinopélvica (237), (287). No obstante, también se han descrito la lesión de vasos y/o órganos pélvicos, fístula de líquido cefalorraquídeo, trombosis venosa profunda, fallecimiento intrahospitalario, etc. (188), (287).

Los pacientes están en riesgo de morbilidad desde el posicionamiento en el procedimiento por sí mismo. En una serie de pacientes colocados en posición prona para sacrectomías, el riesgo asociado a la posición solo se ha visto en pacientes obesos y en procedimientos de más de 10 horas de duración (288).

#### 1.9.1.2. COMPLICACIONES QUIRÚRGICAS GENERALES

En la revisión sistemática de Bederman et al. (237) en cuanto a las complicaciones intraoperatorias se comunicó una pérdida excesiva de sangre en 24 de 43 pacientes (55.8%) con una media de 9276 ml (rango 1500-21700 ml). En 23 pacientes se presentaron complicaciones posoperatorias que incluyeron: infección de herida/fallo de la instrumentación (7 pacientes, 30,4%), dehiscencia de la herida (4 pacientes, 17,4%), complicaciones gastrointestinales (hemorragia, perforación, infección por *C. difficile* e íleo paralítico) (7 pacientes, 30,4 %), infección del tracto urinario (4 pacientes, 17,4%), complicaciones vasculares (7 pacientes, 30,4%), convulsiones (1 paciente, 4,3%), úlcera de decúbito (1 paciente, 4,3%), y ninguna en 4 pacientes.

#### 1.9.1.3. COMPLICACIONES MAYORES

##### 1.9.1.3.1. COMPLICACIONES DE HERIDA E INFECCIÓN

La incidencia de infección de herida quirúrgica es mayor en los tumores sacros que en otras áreas de la columna, y más frecuente en las resecciones en bloque que en las cirugías intralesionales (289).

La resección del sacro y de los tejidos blandos se ha asociado a la formación de un gran espacio muerto, una atrofia neural y una disminución de la vascularización de los tejidos remanentes aumentando el riesgo de infección.

La infección puede asociarse a una mayor estancia hospitalaria, un mayor coste y a mayores riesgos inherentes al tratamiento de la infección (p. ej. tratamientos prolongados con antibióticos endovenosos, intervenciones repetidas, etc.) (290), (291).

El desarrollo de complicaciones de herida (infección y dehiscencia) se ha asociado a los siguientes factores: proximidad del recto, radioterapia previa, excesiva retracción de tejidos, diabetes mellitus, tamaño del tumor, diámetro máximo del tumor  $\geq 10$  cm, resección amplia de tejidos blandos, el uso de instrumentación, fístula de líquido cefalorraquídeo (198), disfunción intestinal y vesical posoperatoria (289) y cirugía lumbosacra previa (289).

Para prevenir la infección los cirujanos deben tomar una serie de medidas: realizar una cirugía en asepsia estricta, realizar un vaciado preoperatorio del colon, realizar una colostomía electiva preoperatoria en caso de invasión del recto, y antibioterapia endovenosa preoperatoria (188). Algunos autores (274) propusieron otras medidas como el uso de una bolsa de Vicryl® con partículas de gentamicina para rellenar el defecto del sacro y de los tejidos blandos para prevenir la infección y la hernia hasta que se desarrolle un tejido de granulación. Para disminuir la presión de la piel y de los tejidos blandos aumentando así su vascularización pueden ser necesarios los colgajos. Para disminuir la cavidad que queda tras la resección del tumor pueden ser necesarios colgajos vascularizados (188).

#### 1.9.1.3.2. SANGRADO INTRAOPERATORIO EXCESIVO

Se han publicado elevadas pérdidas de sangre intraoperatoria en este tipo de cirugía como en el estudio de Bederman et al. (237) que reportaron una media de 9276 cc (rango: 1500-21700 cc), siendo uno de los principales problemas de esta cirugía. Esto es debido a la abundante vascularización del área presacra y del tumor, las venas epidurales, las osteotomías de la sacrectomía, una excesiva disección y la resección del músculo (188), (292).

Los factores que influyen en el sangrado son: la edad, el género, el estado nutricional, el volumen del tumor, su vascularización del tumor y su localización, el antecedente de cirugía o radioterapia previas, el abordaje quirúrgico, el tipo de resección (en bloque o curetaje intralesional), tiempo de cirugía, la oclusión temporal de la aorta y una reconstrucción con instrumentación (19), (82), (293), (294), (295), (296).

Existen diferentes métodos para controlar el excesivo sangrado. La disección retroperitoneal o transperitoneal de las estructuras anteriores al sacro, liberando las arterias y venas del sacro es una parte importante de la cirugía (297). La ligadura de la arteria sacra media, arterias ilíacas internas y las arterias iliolumbares es necesaria para controlar el aporte vascular al sacro y al tumor (297). La disección muscular cautelosa, la aplicación de cera de hueso en los márgenes, de esponja de gelatina absorbente hemostática, de gasas compresivas, la aplicación de PMMA (298), nitrógeno líquido, fenol, agua oxigenada y agua caliente (188), fibrina, un colgajo de omento o la criocirugía (299). Otras medidas son, la embolización del tumor, la ligadura de las arterias ilíacas internas y la aplicación de un balón de dilatación colocado distalmente a la aorta abdominal vía arteria femoral (294). La autotransfusión no puede ser empleada en tumores malignos (297).

#### 1.9.1.3.3. LESIÓN DE LAS ESTRUCTURAS VISCERALES

Es muy importante proteger las vísceras. Debido a su localización muy anterior, la preservación del uréter y de la vejiga es muy sencilla. Sin embargo, la red del recto puede estar más adherida al tumor sacro, incluso infiltrado. Por ello se recomienda realizar una limpieza del colon en todos los casos y una colostomía electiva antes de la cirugía primaria en caso de riesgo de perforación del recto (297).

#### 1.9.1.3.4. MORTALIDAD INTRAHOSPITALARIA

En cuanto a la mortalidad intrahospitalaria Rose et al. (188) mostró un 10% de mortalidad intrahospitalaria en 50 resecciones sacras. Contaron que 3 de 5 pacientes que fallecieron presentaban una enfermedad cardiovascular desconocida previamente (cardiopatía silente) a pesar de presentar evaluaciones preoperatorias normales (188). Por ello algunos grupos recomiendan realizar un ecocardiograma de estrés preoperatorio con dobutamina en todos los pacientes que se someterán a resecciones espino-pélvicas (188).

#### 1.9.1.4. COMPLICACIONES MENORES

En la revisión bibliográfica se objetiva que las complicaciones menores son poco evaluadas. En la serie de Verlaan et al. (287) destaca la infección de orina en asociada al sondaje vesical.

#### 1.9.2. RESULTADOS ONCOLÓGICOS

Los tumores primarios malignos del sacro más frecuentes en adultos son el cordoma y el condrosarcoma. En ellos la mejor técnica quirúrgica para conseguir el control oncológico local a largo plazo es la resección quirúrgica con márgenes amplios (87), (300). La resección incompleta del tumor lleva a un rápido crecimiento local, y las resecciones intralesionales implican aumento de la tasa de recurrencia local y una menor supervivencia (239), (301). La resección en bloque del tumor supone su escisión en una pieza sin violar sus márgenes; sin embargo, lo que condiciona su pronóstico es el margen obtenido en la cirugía (256), siendo muy importantes para la planificación de la cirugía y los resultados posoperatorios (211).

La terminología y la definición de los márgenes quirúrgicos que se han empleado en la columna vertebral se dividen en (3):

1. Intralesional: Cuando existe tumor en el margen. En la escisión intracapsular se produce una resección incompleta que deja tumor remanente (macroscópico o microscópico) y la extracapsular significa que no existe tejido tumoral macroscópicamente pero sí microscópicamente (3).
2. Marginal: Cuando la resección se realiza fuera de la superficie o la pseudocápsula del tumor, que es un tejido reactivo del mismo. Se objetivan restos microscópicos (3).
3. Amplio: Cuando la resección del tumor se realiza a través de los tejidos sanos circundantes. Por lo tanto, el tumor y el área circundante están cubiertos por tejidos sanos después de la resección (3).
4. Radical: La obtención de márgenes radicales implica la eliminación de los compartimentos invadidos por el tumor, por ello no están indicados en la columna, por la existencia del espacio epidural que conecta cráneo y cóccix (3).

La obtención de márgenes amplios o marginales en la sacrectomía en bloque, total o subtotal, es difícil por su extensión y relación con estructuras circundantes. Se ha de tener en cuenta que su obtención puede conllevar la resección de músculos, vasos o nervios que produciendo una importante limitación funcional del paciente (302).

Se ha descrito la influencia de los márgenes quirúrgicos en la primera cirugía como el principal factor pronóstico de recurrencia local y de la supervivencia. En los diferentes estudios se han altas tasas de recurrencia del 43-85% (19), (82), (194), (239), (301), (303), (304), (305), (306), (307) pero la mayoría de series son muy pequeñas, por lo que la validez de los resultados es limitada. No obstante, la supervivencia y la recurrencia no se deben exclusivamente a la calidad de los márgenes sino que también se ha asociado a la localización alta del tumor (304), la resección subtotal (308), la edad (19), un procedimiento diagnóstico invasivo (301), el tamaño del tumor (301), (304) y la infiltración de tejidos circundantes (309). No obstante, este es un tema a explorar por la falta de estudios válidos y bien diseñados.

En tumores sacros benignos, como los de células gigantes, se puede considerar la resección por desmembramiento (*piecemeal*) con preservación de las raíces nerviosas, pero asumiendo un alto riesgo de recurrencia local (199). En el tumor de células gigantes, se ha descrito que la resección en bloque con márgenes amplios libres de tumor es el tratamiento de elección para las lesiones por debajo de S3, reportando un 0% de recurrencia local en pacientes sometidos a ella (44). La resección intralesional permite salvar las raíces nerviosas y las vísceras y mantener la estabilidad espinopélvica, dependiendo de la localización de la lesión, pero se ha asociado a una alta tasa de recurrencia local, de un 48% en pacientes tratados con resección intralesional sola y de un 49% en los que se asoció radioterapia (44). En los que son más altos de S3, si no afectan a la línea media se puede realizar una resección preservando las raíces contralaterales S1-S5 (45). Si afecta a la línea media se puede utilizar una resección marginal junto con una intralesional, preservando las raíces de S1 a S3 (45). Li et al. (45),

al comparar las tres técnicas en 25 pacientes con tumor de células gigantes, observaron las siguientes tasas de recurrencia local: 0% en las resecciones en bloque, un 18,2% en las resecciones marginales y un 47,1% las resecciones marginales y curetaje y un 71% en las resecciones intralesionales solas.

### **1.9.3. RESULTADOS FUNCIONALES**

#### **1.9.3.1. GENERALIDADES**

El resultado funcional global de la sacrectomía en bloque es muy importante para el paciente pues condiciona su calidad de vida final (310).

La sacrectomía en bloque con márgenes libres de tumor puede influir negativamente en la calidad de vida del paciente produciendo una alteración de la función motora en miembros inferiores, de la sensibilidad, de la función vesical e intestinal y sexual (82), (311), (312), (313), (314), (315). Estas alteraciones se pueden producir por lesión del plexo lumbosacro o de las raíces sacras. No obstante, la función resultante no depende solo de la amputación de las raíces sino también de otros factores como el estado neurológico preoperatorio, el tiempo de evolución de la compresión, las anastomosis variables entre las raíces, complicaciones posoperatorias, lesiones colaterales (p. ej. la sección de los músculos del suelo pélvico podría producir una sección del nervio pudiendo con su pérdida de función, incluso si las raíces sacras son salvadas), de la motivación personal durante la rehabilitación, y del tiempo de seguimiento (316). La capacidad de deambulación y el dolor local también se han asociado con la estabilidad de la fijación lumbopélvica y el éxito de la reconstrucción de los tejidos blandos.

#### **1.9.3.2. FUNCIÓN MOTORA EN MIEMBROS INFERIORES**

El déficit motor y sensitivo en miembros inferiores se ha relacionado con la amputación de L5 y S1 (315), (316), (317), (318), (319). La raíz L5 es responsable de la flexión dorsal del tobillo y de la extensión del primer dedo del pie y la S1 de la flexión plantar del mismo. Los músculos gastrocnemios solo reciben parte de su inervación de S2.

La única revisión sistemática que existe en cuanto a la influencia de la integridad de las raíces sobre la función motora, vesical, intestinal y sexual (316) indica que la preservación de L5 y S1 es muy importante en la preservación de la función motora posoperatoria autónoma, sin necesidad de un tutor externo. No obstante, no atribuyen toda la responsabilidad a ella sino también a la integridad de las articulaciones sacroilíacas y a la estabilidad del anillo pélvico, pero no lo analizan en su estudio (316).

Existe una carencia de estudios sobre este aspecto.

#### **1.9.3.3. FUNCIÓN VESICAL E INTESTINAL**

##### **1.9.3.3.1. ANATOMÍA**

El control neurológico de la vejiga y el intestino y de la función sexual se realiza a partir de:

1. Sistema nervioso autónomo: Las fibras simpáticas y parasimpáticas de los segmentos S2-S4, que se originan en los segmentos T12-L2 de la médula espinal, inervan el músculo liso de vejiga, recto y genitales internos. Las fibras simpáticas lo hacen mediante el plexo hipogástrico superior y las parasimpáticas mediante el plexo hipogástrico inferior. También existen células ganglionares y sinapsis en las paredes de los órganos diana. Las fibras sensoriales viscerales (aférentes) vuelven a la médula espinal desde la vejiga urinaria, los genitales y el recto (320).

2. Áreas corticales: En la médula espinal el centro de la micción y de la defecación recibe la entrada supranuclear de áreas corticales superiores y transmite información aferente hacia el cerebro proporcionando la percepción consciente de llenado de la vejiga y estímulos nocivos y térmicos. Estos mecanismos son la base del control voluntario de la micción y de la defecación (320).

3. Inervación somática: Es proporcionada por los nervios pudendos procedentes de los segmentos medulares S2-S4. Sus ramas motoras inervan el esfínter anal y vesical externos. También transmite impulsos aferentes desde uretra, próstata, canal anal y genitales externos, responsables de la sensibilidad profunda (320). Se encarga del control voluntario de esfínteres externos de vejiga y recto (320).

#### 1.9.3.3.2. ALTERACIÓN DE LA FUNCIÓN MOTORA E INTESTINAL TRAS LA SACRECTOMÍA

La mayoría de estudios sobre la función vesical e intestinal tras la sacrectomía son pequeñas series de casos (18), (230), (257), (306), (312), (314), (315), (317), (319), (321), (322), (323), (324), (325), (326), (327). Recientemente se han publicado dos estudios con mayores muestras que aportan información valiosa sobre el tema (316), (328).

Existen indicios de que la raíz clave en la preservación de la función vesical e intestinal es S2 (316). Sin embargo, la raíz de S3 sería la que presentaría una asociación con una mayor continencia tanto vesical como intestinal (311), (316), (319) por el control del músculo esfínter externo del ano, debiendo el paciente poseer como mínimo una raíz preservada para mantener heces sólidas, aunque puede persistir cierto grado incontinencia (312), (329).

Los grados de afectación pueden ser variables. A nivel vesical, se pueden producir episodios de retención e incontinencia, con sensación de plenitud de la vejiga y distensión abdominal, lo que obliga a una cateterización intermitente o permanente. La función intestinal puede manifestarse en forma de diarrea, teniendo que emplear tapones rectales, o estreñimiento, siendo necesarios enemas y evacuación manual.

Considerando que los problemas mayores intestinales son muy incapacitantes existen autores que prefieren realizar una colostomía primaria en el tiempo de la resección, sobre todo en las resecciones más altas de S3 (330).

La resección unilateral de los nervios sacros se asocia a una menor disfunción (213), (316), (319).

La información sobre estas funciones es escasa y poco comparable, debido a que en los diferentes estudios se emplean diferentes formas de medir las funciones.

#### 1.9.3.4. FUNCIÓN SEXUAL

Existen muy pocas publicaciones sobre la función sexual. Lo publicado al respecto parece indicar que la amputación de las raíces S2 hacia abajo se asociaría siempre a una alteración completa de la función sexual por lesión directa del reflejo neurológico necesario para la erección en hombres, y la pérdida de sensibilidad en el área perineal (314), (330). También se ha valorado que la amputación de S3 hacia abajo causa una pérdida intermedia de la función y que cuando se respetan las raíces S3 se produce una asociación de la función normal (312), (330), (331). No obstante, son series de casos pequeñas a partir de las cuales no se pueden realizar afirmaciones rotundas.

#### 1.9.3.5. SENSIBILIDAD

La sensibilidad también se puede alterar. Existen pocos estudios que la valoren (312), (316), (332).

Según el nivel de amputación de las raíces se producirán diferentes tipos de alteraciones de la sensibilidad en miembros inferiores y en zona de silla de montar, que se relaciona con la disfunción sexual (316), (332).

Las raíces de S1 se han relacionado con la anestesia en silla de montar (332); la de S2 con la sensibilidad en la base del pene, clítoris y labios; la S3 se relaciona más con el glande y los labios, y S4 con la sensibilidad perineal (316).

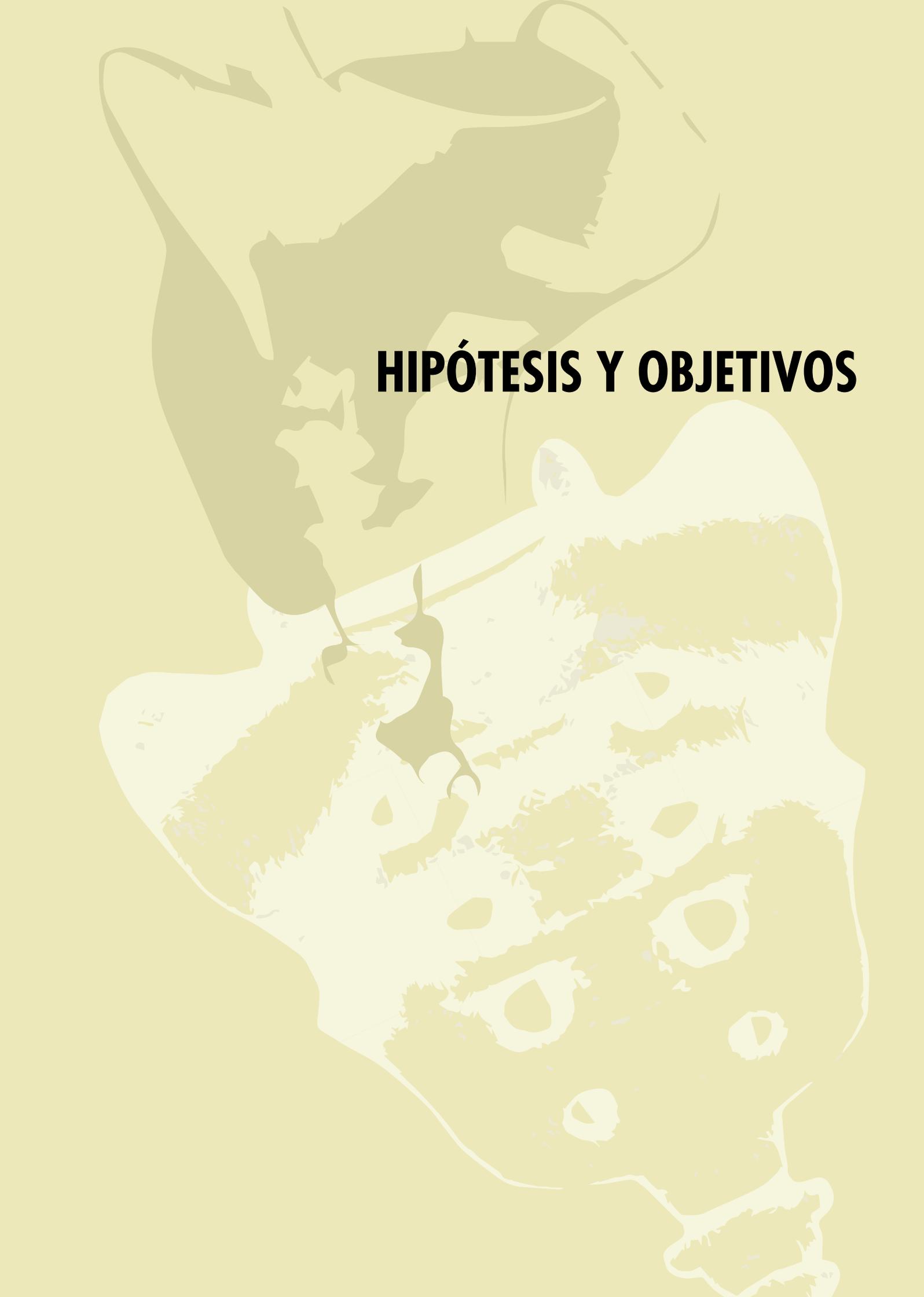
### **1.9.3.6. DOLOR**

La sacrectomía se ha asociado a dolor, como consecuencia de la naturaleza del tumor y la agresividad de la intervención quirúrgica. Existen muy pocos estudios que lo evalúen como variable principal (333). De hecho, en el estudio de Davidge et al. (189) sobre la calidad asistencial percibida por los pacientes sometidos a una sacrectomía objetivaron una carencia en cuanto a la información sobre el dolor crónico tras el procedimiento.

## **1.10. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

La sacrectomía en bloque en tumores primarios es una técnica muy exigente y muy poco frecuente que conlleva una importante morbilidad, una alteración de la función motora, intestinal y vesical y la función sexual que puede producir una importante discapacidad que estaría justificada por los resultados oncológicos de la misma. En la revisión de la bibliografía se encuentra poca información sobre estos hechos que son muy importantes a la hora de decidir el modelo de cirugía entre los diferentes especialistas y el paciente. Asimismo, existe escasa información y poco homogeneizada en cuanto a la valoración de los resultados oncológicos en los diferentes tipos de tumores sacros primarios, sobre todo del cordoma que es el tumor maligno más frecuente. Por ello, consideramos que está justificado el estudio clínico.

La sacrectomía total también produce una disociación de la estabilidad espinopélvica que precisa una reconstrucción de la estabilidad espinopélvica para la mayoría de autores. No obstante, al realizar una revisión de la bibliografía se encuentran pocos estudios biomecánicos y clínicos al respecto. Esto se debe a la baja frecuencia de los tumores sacros que la precisan, siendo la mayoría de publicaciones trabajos clínicos de casos o series de casos y algunos estudios biomecánicos y/o elementos finitos sobre algunas técnicas experimentales/teóricas, limitando la capacidad de compararlas entre sí. No obstante, sí que parece clara la necesidad de un soporte anterior de la columna vertebral para mantener la estabilidad. Por ello, en este estudio hemos diseñado una pieza de reconstrucción sustitutiva de la primera vértebra sacra con una técnica de fabricación aditiva que consideramos podría ser una buena solución para los casos de sacrectomía total al reconstruir la primera vértebra sacra de la forma más anatómica posible. Por ello, creemos justificado el estudio biomecánico.



# HIPÓTESIS Y OBJETIVOS



## **2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**

### **2.1. HIPÓTESIS**

#### **2.1.1. ESTUDIO CLÍNICO**

La resección en bloque de sacro en el tratamiento de tumores primarios de sacro produce un importante impacto en el dolor, un deterioro de la función neurológica y asocia una alta tasa de complicaciones.

#### **2.1.2. ESTUDIO BIOMECÁNICO EXPERIMENTAL**

La reconstrucción de la inestabilidad espinopélvica tras la sacrectomía con una prótesis de sustitución de S1, fabricada con técnicas de prototipado, en comparación con dos técnicas empleadas con tornillos pediculares e ilíacos y 2 barras en L unidas mediante conectores con y sin apoyo de la columna vertebral anterior con tornillos en el cuerpo de L5 proporciona una mayor estabilidad, menores tensiones en implantes y menores tasas de fallos del instrumental permitiendo una movilización precoz del paciente y disminuyendo las cirugías de revisión.

### **2.2. OBJETIVOS**

#### **2.2.1. ESTUDIO CLÍNICO**

##### **2.2.1.1. OBJETIVO GENERAL**

El objetivo general del estudio clínico es analizar los resultados de la sacrectomía en bloque en cuanto a sus complicaciones, al dolor, funcionalidad, sensibilidad y los resultados oncológicos.

##### **2.2.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Evaluar la tasa de complicaciones y analizar el tipo de complicaciones que se producen durante el seguimiento.
- Evaluar la tasa de reintervenciones y sus causas durante el seguimiento.
- Analizar la evolución de los valores de EVA y el tipo de dolor que se produce tras la cirugía y a largo plazo tras la sacrectomía en bloque y los factores que lo condicionan.
- Analizar la evolución función motora y sus resultados a largo plazo tras una sacrectomía en bloque.
- Analizar su relación con el nivel de amputación de las raíces sacras y otros factores que la condicionen.
- Analizar la evolución de las funciones intestinal y vesical y sus resultados a largo plazo tras una sacrectomía en bloque.
- Analizar su relación con el nivel de amputación de las raíces sacras y otros factores que la condicionen.
- Analizar la evolución de la función sexual y sus resultados a largo plazo tras una sacrectomía en bloque.
- Analizar su relación con el nivel de amputación de las raíces sacras y otros factores que la condicionen.

- Analizar la sensibilidad y sus resultados a largo plazo tras una sacrectomía en bloque.
- Analizar su relación con el nivel de amputación de las raíces sacras y otros factores que la condicionen.
- Calcular la recurrencia y metástasis en los cordomas sacros tras la sacrectomía en bloque.
- Analizar los factores que influyen en la recurrencia y metástasis.
- Calcular las tasas de supervivencia global (SG), supervivencia libre de enfermedad (SLE) y la supervivencia libre de metástasis (SLM) en los cordomas sacros tras la sacrectomía en bloque.
- Analizar los factores que influyen en SG, SLE y SLM.

## **2.2.2. ESTUDIO BIOMECÁNICO EXPERIMENTAL**

### **2.2.2.1. OBJETIVO GENERAL**

El objetivo general del estudio biomecánico experimental es evaluar las propiedades biomecánicas de un nuevo sistema de reconstrucción de la estabilidad espinopélvica tras una sacrectomía total: una pieza sustitutiva sacra de titanio macizo y poroso fabricada con una técnica de prototipado rápido.

### **2.2.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar y comparar la estabilidad de la reconstrucción lumbopélvica y las tensiones en el instrumental de la pieza sustitutiva sacra y otras dos técnicas clásicas, una basada solo en la fijación espinopélvica y la otra añadiendo elementos de fijación de la columna anterior, con un modelo de elementos finitos.
- Analizar el fallo del instrumental del modelo con la pieza sustitutiva sacra en estudio tras someterla a estudios de fatiga en modelo de poliamida y cadáver.

# MATERIAL Y MÉTODOS





### **3. MATERIAL Y MÉTODOS**

Para conseguir los objetivos planteados se realizaron dos estudios: uno clínico y otro experimental.

#### **3.1. ESTUDIO CLÍNICO DE SACRECTOMÍA EN BLOQUE POR TUMORES PRIMARIOS DE SACRO**

##### **3.1.1. DISEÑO DEL ESTUDIO. MUESTRA. CRITERIOS DE SELECCIÓN**

###### **3.1.1.1. DISEÑO DEL ESTUDIO**

Se realizó un estudio de tipo descriptivo retrospectivo (serie de casos longitudinal).

###### **3.1.1.2. PERIODO DEL ESTUDIO**

Del 1 de enero de 1998 al 1 de junio de 2016.

###### **3.1.1.3. POBLACIÓN ESTUDIADA**

Pacientes afectos de tumor sacro primario que fueron sometidos a resección en bloque de sacro (total o parcial), realizados por un mismo cirujano principal en el Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología del Hospital Universitario Doctor Peset Aleixandre (Valencia). Este centro recibe pacientes afectos de tumores vertebrales de todo el territorio nacional.

###### **3.1.1.4. SELECCIÓN DE LA MUESTRA**

###### **3.1.1.4.1. CRITERIOS DE INCLUSIÓN**

Pacientes mayores de 17 años.

Pacientes diagnosticados de un tumor primario de sacro mediante estudio de imagen y biopsia, en caso de no tratarse de una recurrencia.

Pacientes sometidos a sacrectomía en bloque donde se planificaron la obtención de márgenes libres de tumor.

Pacientes donde se identificaron claramente los niveles de resección sacra y las raíces sacrificadas. Tiempo de seguimiento mínimo de 6 meses tras la cirugía.

###### **3.1.1.4.1. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN**

Pacientes afectos de enfermedad metastásica.

Pacientes sometidos a hemisacrectomía y hemipelvectomía.

Pacientes en los que se planificó cirugía de resección intralesional y extralesional.

##### **3.1.2. ASPECTOS ÉTICOS**

En el presente estudio no se realizó ninguna intervención directa sobre los pacientes. Los datos se recogieron de forma respectiva a través de una revisión de las historias clínicas.

La identificación de cada caso se realizó por el número de historia clínica, siendo este asignado automáticamente por la fecha de nacimiento en formato "dos últimas cifras de año, mes, día", sumándose 30 al día si fuera mujer. P. ej. un varón nacido el 01/10/1978 tendría como identificador 781001. Si fuera mujer sería 781031.

Se garantizó la confidencialidad de los datos, acogiéndose a lo dispuesto por la Ley Orgánica de 15/1999 de 13 de diciembre de Protección de datos de carácter personal.

El estudio fue aprobado por el Comité Ético de Investigación Clínica del Hospital Doctor Peset el 1 de junio de 2015 (Anexo I).

### 3.1.3. VARIABLES RECOGIDAS

#### 3.1.3.1. VARIABLES DEMOGRÁFICAS

- **Edad:** Se registró la fecha de nacimiento y la de intervención quirúrgica. A partir de ellas se calculó la edad en años cumplidos. Variable cuantitativa discreta.
- **Sexo:** Tomó los valores masculino o femenino. Variable cualitativa nominal.
- **Tiempo de seguimiento:** Se calculó a partir de la fecha de la cirugía y la del último seguimiento o hasta el fallecimiento del paciente en meses. Variable cuantitativa continua.

#### 3.1.3.2. ESTUDIO DEL TUMOR

##### 3.1.3.2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL TUMOR

- **Tipo de tumor primario:** Se registró el tipo de tumor a partir del informe de anatomía patológica posoperatoria. Variable cualitativa nominal.
- **Fecha de diagnóstico del tumor:** Se registró la fecha del diagnóstico del tumor.

##### 3.1.3.2.2. PRUEBAS DE IMAGEN

- **Radiografía simple columna localizada:** Realización de una radiografía simple de columna localizada en la zona afectada por el tumor durante el mes anterior a la cirugía. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **RM de columna localizada:** Realización de una RM de columna localizada en la zona afectada por el tumor en el último mes antes de la cirugía. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **RM de columna completa:** Realización de una RM columna completa en el mes antes de la cirugía. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **TC localizada:** Realización de una TC localizada de la lesión tumoral en el mes anterior a la cirugía. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **TC tóraco-abdomino-pélvica:** Realización de una TC tóraco-abdomino-pélvica en el último mes antes de la cirugía. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Gammagrafía ósea:** Realización de una gammagrafía ósea en el último mes antes de la cirugía. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **PET-TC:** Realización de una PET-TC en el último mes antes de la cirugía. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Angiografía:** Realización de una angiografía en el último mes antes de la cirugía. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Angio-TC:** Realización de una angio-TC en el último mes antes de la cirugía. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Angio-RM:** Realización de una angio-RM en el último mes antes de la cirugía. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.

### 3.1.3.2.3. BIOPSIA PREOPERATORIA

- **Número de biopsias:** Número de biopsias preoperatorias realizadas. Variable cuantitativa discreta.
- **Realización de la biopsia en el mismo centro en el que se opera:** Realización de la biopsia en el mismo centro en el que se realizó la cirugía definitiva. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Tipo de biopsia realizada:** Tipo de biopsia realizada. Tomó los valores: "PAAF (punción aspiración con aguja fina)", "Trócar", "Abierta", "PAAF y trócar", "PAAF y abierta", "Trócar y abierta". Variable cualitativa nominal.
- **Histología del tumor por biopsia:** Se registró el resultado del análisis histológico del material de la biopsia. Variable cualitativa nominal.
- **Biopsia concordante con diagnóstico definitivo posquirúrgico:** Se registró la concordancia del análisis histológico de la biopsia preoperatoria con el resultado del análisis histológico tras la resección del espécimen. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.

### 3.1.3.3. CARACTERÍSTICAS DEL TUMOR

- **Diámetro mayor del tumor:** Se determinó el diámetro mayor del tumor medido en RM en centímetros (cm). Variable cuantitativa continua.
- **Diámetro mayor del tumor codificado:** Variable que es creada tras calcular la mediana de diámetro mayor del tumor. Tomó valores: "< 10 cm" o "≥ 10 cm". Variable cualitativa nominal.
- **Topografía ósea del tumor sacro:** Se determinó a partir de la valoración de RM y TC preoperatorias. Tomó las siguientes variables: "L5 derecha", "L5 izquierda", "S1 derecha", "S1 izquierda", "S2 derecha", "S2 izquierda", "S3 derecha", "S3 izquierda", "S4 derecha", "S4 izquierda", "S5 derecha", "S5 izquierda", "Cóccix", "Articulación sacroilíaca derecha", "Articulación sacroilíaca izquierda" y "Escotadura ciática". Variable cualitativa nominal.
- **Patrones de distribución ósea del tumor:** A partir de la anterior variable se determinaron una serie de patrones de distribución ósea del tumor. Tomó los siguientes valores: "Articulación sacroilíaca, L5-S5 y cóccix", "Articulación sacroilíaca unilateral y S1-S5", "Articulación sacroilíaca bilateral, S2-S5", "S1 y S2 bilateral", "S1-S5 bilateral", "S2-S5 bilateral", "S2 unilateral-S5 bilateral" y "S3-S5 bilateral". Variable cualitativa nominal.
- **Topografía de partes blandas del tumor:** A partir de la RM y TC preoperatorias se determinó la afectación de los tejidos blandos. Tomó los siguientes valores: "Piel", "Pared del recto", "Músculo erector de la columna", "Músculo piriforme", "Músculo glúteo", "Canal lumbosacro", "Nervio ciático", "Ligamento sacrotuberoso", "Ligamento sacroespinoso" y "Otros". Variable cualitativa nominal.
- **Afectación de tejidos periféricos al sacro:** Se creó a partir de la variable anterior. En función de la afectación de los músculos piriformes, glúteos, ligamento sacrotuberoso y sacroespinoso y articulaciones sacroilíacas. Tomó los valores: "No" y "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Antecedente cirugía abdominal:** Se registró si presentaba un antecedente de cirugía abdominal previa. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Estado de piel:** Se registró el estado de la piel sacra antes de la cirugía. Tomó los valores: "Intacta", "Fístula sacra", "Radiodermatitis" y "Otras". Variable cualitativa nominal.
- **Estadaje quirúrgico de Enneking modificado por Boriani et al. (3):** Se determinó a partir de RM y TC preoperatorias. Variable cualitativa nominal. Tomó los siguientes valores: "S1", "S2", "S3", "IA", "IB", "IIA", "IIB" y "III" según la Tabla 5. Variable cualitativa nominal.

Tabla 5. Sistema de estadiaje quirúrgico modificado de Enneking (3)

TIPO	DEFINICIÓN
S1	Tumor benigno, latente e inactivo con una cápsula verdadera.
S2	Tumor benigno de crecimiento lento que causan síntomas medios. Presenta una fina cápsula y una capa de tejido reactivo.
S3	Tumor benigno, de crecimiento lento. Presenta una cápsula fina, incompleta o ausente.
IA	Tumor maligno de crecimiento lento que permanece dentro de la vértebra
IB	Tumor maligno de crecimiento lento que invade compartimentos paravertebrales
IIA	Tumor maligno de crecimiento rápido que permanece dentro de la vértebra
IIB	Tumor maligno de crecimiento rápido que afecta a los compartimentos paravertebrales
III	Tumor maligno que presenta metástasis a un órgano distante diferente, independientemente del grado histológico del tumor primario.

### 3.1.3.4. TRATAMIENTO PREOPERATORIO

- **Quimioterapia preoperatoria:** Se registró el tratamiento con quimioterapia preoperatoria. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Tipo de quimioterapia preoperatoria:** En el caso de haber realizado tratamiento quimioterapia preoperatoria se registró el tipo de quimioterapia aplicada. Variable cualitativa nominal.
- **Radioterapia local preoperatoria:** Se registró el tratamiento con radioterapia en el preoperatorio. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Tratamiento quirúrgico previo:** Se registró la realización de cirugía previa. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Tiempo de realización entre las cirugías:** Se calculó el tiempo entre las cirugías en meses tomando como referencia la fecha de la cirugía previa y la fecha de la cirugía actual. Variable cuantitativa continua.
- **Márgenes de la primera cirugía:** Descripción histopatológica de los bordes de la pieza reseçada en la primera cirugía teniendo en cuenta el peor. Tomó los valores: "Intralesional", "Marginal" y "Amplio" según el sistema de Enneking (200). Se definió como intralesional si presentaba tejido patológico en el margen, marginal si el plano de resección se encontraba sobre una pseudocápsula y amplio si existía un borde de tejido sano alrededor del tumor. Variable cualitativa nominal.

### 3.1.3.5 ESTADO BASAL PREOPERATORIO DEL PACIENTE

- **Índice ASA:** Se registró el riesgo anestésico con el índice ASA (American Society of Anesthesiologists). Tomó los siguientes valores: "I", "II", "III", "IV" y "V" según la Tabla 6. Variable cualitativa ordinal.

Tabla 6. Índice ASA

ASA	DEFINICIÓN
I	Paciente sano
II	Paciente con enfermedad sistémica leve que no limita su actividad
III	Paciente con enfermedad sistémica grave que limita su actividad, pero no incapacitante
IV	Paciente con enfermedad sistémica grave incapacitante que es una amenaza constante para su vida
V	Paciente moribundo cuya supervivencia probablemente no supere las 24 horas con o sin intervención

- **Índice de Karnofsky:** Se registró el índice de Karnofsky. Tomó valores del 0-100 según la descripción expuesta en la Tabla 7. Variable cualitativa ordinal.

Tabla 7. Índice de Karnofsky (334).

GRADO	ACTIVIDAD
100	Actividad normal. Sin evidencia de metástasis.
90	Actividad normal. Signos y síntomas leves de enfermedad.
80	Actividad normal con esfuerzo. Algunos signos o síntomas de enfermedad
70	Cuida de sí mismo, pero es incapaz de llevar a cabo una actividad o trabajo normal.
60	Necesita ayuda ocasional, pero puede cuidar de sí mismo para la mayoría de sus necesidades.
50	Necesita ayuda considerable de otros y cuidados especiales frecuentes.
40	Incapacitado. Requiere cuidados especiales.
30	Severamente incapacitado. Indicación de hospitalización, aunque no hay indicios de muerte.
20	Gravemente enfermo. Necesita asistencia activa de soporte.
10	Moribundo.
0	Fallecido.

- **Índice de Karnofsky codificado:** Para su análisis el índice de Karnofsky se recodificó en: "Bajo e intermedio" (10-70) y "Bueno" (80-100). Variable cualitativa ordinal.
- **Índice de Comorbilidad de Charlson:** Se calculó a partir de los baremos sumando el número de puntos que se le asigna a cada uno (Tabla 8). Variable cuantitativa continua.

Tabla 8. Índice de Comorbilidad de Charlson (335).

PATOLOGÍA	Puntos
<b>INFARTO DE MIOCARDIO:</b> Debe existir evidencia de que el paciente fue hospitalizado por ello o evidencias de que existieron cambios en enzimas y/o electrocardiograma.	1
<b>INSUFICIENCIA CARDÍACA:</b> Debe existir historia de disnea de esfuerzos y/o signos de insuficiencia cardíaca en la exploración física que respondieron favorablemente al tratamiento con digitálicos, diuréticos o vasodilatadores. Los pacientes que estén tomando estos tratamientos, pero no que no se puede constatar que hubo mejoría clínica de los síntomas y/o signos, no se incluirán como tales.	1
<b>ENFERMEDAD ARTERIAL PERIFÉRICA:</b> Incluye claudicación intermitente, intervenidos mediante by-pass arterial periférico isquemia arterial aguda y aquellos con aneurisma de aorta torácica o abdominal de > 6cm de diámetro.	1
<b>ENFERMEDAD CEREBROVASCULAR:</b> Pacientes con AVC con mínimas secuelas o AVC transitorio.	1
<b>DEMENCIA:</b> Pacientes con evidencia de deterioro cognitivo crónico.	1
<b>ENFERMEDAD RESPIRATORIA CRÓNICA:</b> Debe existir evidencia en la historia clínica, en la exploración física y en la exploración complementaria de cualquier enfermedad respiratoria crónica, incluyendo EPOC y asma.	1
<b>ENFERMEDAD DE TEJIDO CONECTIVO:</b> Incluye lupus, polimiositis, enfermedad mixta de tejido conectivo, polimialgia reumática, arteritis células gigantes y artritis reumatoide.	1
<b>ÚLCERA GASTRODUODENAL:</b> Incluye a aquellos que han sido tratados por ulcus y aquellos que tuvieron sangrado por úlceras.	1
<b>HEPATOPATÍA CRÓNICA LEVE</b> sin evidencia de hipertensión portal (trombopenia, esplenomegalia, alteraciones de la porta). <b>HEPATITIS CRÓNICA</b>	1
<b>DIABETES:</b> Incluye a los tratados con insulina o hipoglucemiantes, pero sin complicaciones tardías. No se incluirán los tratados únicamente con dieta.	1
<b>HEMIPLEJIA o PARAPLEJIA:</b> Evidencia de hemiplejia o paraplejia como consecuencia de un ACV u otra condición.	2
<b>INSUFICIENCIA RENAL CRÓNICA MODERADA/SEVERA:</b> Incluye pacientes en diálisis o bien con creatinina > 3mg/dl objetivadas de forma repetida y mantenida.	2
<b>DIABETES CON LESIÓN EN ÓRGANOS DIANA:</b> Existencia de retinopatía, neuropatía o nefropatía, se incluyen también antecedentes de cetoacidosis o descompensación hiperosmolar.	2

PATOLOGÍA	Puntos
<b>TUMOR o NEOPLASIA SÓLIDA:</b> Incluye pacientes con cáncer, pero sin metástasis.	2
<b>LEUCEMIA:</b> Incluye leucemia mieloide crónica, leucemia linfática crónica, policitemia vera, otras leucemias crónicas y todas las leucemias agudas.	2
<b>LINFOMA:</b> Incluye todos los linfomas, Waldeström y mieloma.	3
<b>TUMOR o NEOPLASIA</b> con metástasis.	6
<b>SIDA definido:</b> No incluye portadores asintomáticos.	6

En seguimientos prolongados (> 5 años), la predicción de mortalidad deberá corregirse con el factor edad, tal como se explica en el artículo original (335): Esta corrección se efectúa añadiendo un punto al índice por cada década existente a partir de los 50 años (p. ej. 50 años= 1 punto; 60 años= 2, 70 años =3, 80 años =4, 90 años =5...). Así un paciente de 80 años (4 puntos) con una comorbilidad de 2, tendrá un índice de comorbilidad corregido de 8 puntos.

- **Índice de Comorbilidad de Charlson recodificado:** Se obtuvo recodificando el índice de comorbilidad de Charlson considerando: "Baja comorbilidad" (0-2 puntos) y "Comorbilidad alta" (3-6 puntos).

### 3.1.3.6. CLÍNICA PREOPERATORIA

#### 3.1.3.6.1. DOLOR

- **EVA (escala de valoración analógica) preoperatoria:** Valor de EVA preoperatorio. Variable cuantitativa discreta.
- **Tipo de dolor:** Se registró el tipo de dolor. Tomó los siguientes valores: "Dolor axial puro", "Dolor neurogénico puro" y "Dolor axial y neurogénico". Variable cualitativa nominal.

#### 3.1.3.6.2. ESTADO NEUROLÓGICO

- **Alteración de la sensibilidad en silla de montar preoperatoria:** Se registró la existencia de alteraciones de la sensibilidad en zona perineal. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Alteración sensibilidad en miembros inferiores preoperatoria:** Se registró la existencia de alteraciones de la sensibilidad en miembros inferiores. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Función motora preoperatoria:** La función motora preoperatoria se midió con la escala de Biagini modificada (313). Tomó los valores indicados en la Tabla 9. Variable cualitativa ordinal.

**Tabla 9. Función motora según la escala de Biagini et al. modificada (313).**

0	Normal	Normal o déficit que no precisa de ayuda o soporte externo para movilidad y actividades comunes.
1	Problema menor	Déficit que precisa ayuda o soporte externo para caminar y actividades comunes.
2	Problema mayor	Déficit que hacen la deambulaci3n imposible.

• **Funci3n vesical preoperatoria:** La funci3n vesical preoperatoria se midi3 con la escala de Biagini modificada (313). Tom3 los valores indicados en la Tabla 10. Variable cualitativa ordinal.

**Tabla 10. Funci3n vesical seg3n la escala de Biagini et al. modificada (313).**

0	Normal	
1	Problema menor	Siente el est3mulo de micci3n y tiene una micci3n limitada. No necesita procedimientos invasivos (micci3n posible con contracci3n abdominal).
2	Problema mayor	No siente el est3mulo de micci3n y/o es completamente incontinente. Necesita procedimientos invasivos como cateterizaci3n, autosondajes.

• **Funci3n intestinal preoperatoria:** La funci3n vesical preoperatoria se midi3 con la escala de Biagini modificada (313). Tom3 los valores indicados en la Tabla 11. Variable cualitativa ordinal.

**Tabla 11. Funci3n intestinal seg3n la escala de Biagini et al. modificada (313).**

0	Normal	
1	Problema menor	Siente est3mulos para defecar y es continente cuando las heces son blandas o bajo estr3s. No necesita procedimientos invasivos.
2	Problema mayor	No siente el est3mulo de defecar y/o es completamente incontinente. Constipaci3n e incontinencia. Necesita procedimientos invasivos como colostom3a.

• **Funci3n sexual preoperatoria:** Se registr3 la existencia de alteraciones de la funci3n sexual. Tom3 los valores: "Normal", "Alterada" y "Desconocida". Variable cualitativa nominal.

• **Disfunci3n er3ctil preoperatoria:** En los varones se registr3 la presencia de disfunci3n er3ctil. Tom3 los valores: "No", "S3", "No aplicable", "Desconocido". Variable cualitativa nominal.

### 3.1.3.7. PREPARACIÓN PREOPERATORIA

- **Embolización preoperatoria:** Realización de una embolización preoperatoria del tumor. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Preparación del colon preoperatoria:** Realización preoperatoria de preparación del colon. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Colostomía preoperatoria:** Realización de una colostomía preoperatoria. Tomó los valores: "No", "Colostomía temporal" o "Colostomía definitiva". Variable cualitativa nominal.
- **Derivación urinaria preoperatoria:** Realización de una derivación urinaria preoperatoria. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Cateterización uréteres:** Realización de cateterización de los uréteres como señalización de los mismos para facilitar su localización intraoperatoria. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.

### 3.1.3.8. SACRECTOMÍA

#### 3.1.3.8.1. GENERALIDADES

- **Número de tiempos:** Número de sesiones quirúrgicas en las que se realizó la cirugía, entendiéndolo como sesiones en días distintos. Variable cuantitativa discreta.
- **Vías de abordaje:** Tipo de vías de abordaje que se realizaron. Tomaron los valores: "Anterior solo", "Posterior solo", "Anterior-posterior secuencial", "Anterior-posterior simultáneo" y "Perineal". Variable cualitativa nominal.
- **Tipo de incisión en abordaje anterior:** Tipo de incisión realizada en el abordaje anterior. Variable cualitativa nominal.
- **Tipo de incisión en abordaje posterior:** Tipo de incisión realizada en el abordaje posterior. Variable cualitativa nominal.
- **Resección de la zona de biopsia:** Resección de la zona de biopsia durante la cirugía. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Duración total de la cirugía:** Duración total de la cirugía como el resultado de la suma de la duración de las diferentes vías medidas en minutos. Variable cuantitativa continua.
- **Duración de la vía anterior:** Duración de la vía anterior medida en minutos. Variable cuantitativa continua.
- **Duración de la vía posterior:** Duración de la vía posterior medida en minutos. Variable cuantitativa continua.

#### 3.1.3.8.2. RESECCIÓN ÓSEA

- **Niveles de osteotomía:** Se consideró como el nivel de osteotomía el límite superior de resección del tumor. En caso de ser asimétrica se escogió el nivel más alto de osteotomía. Tomó los valores: "L5-S1", "Cuerpo S1", "S1-S2", "Cuerpo de S2", "S2-S3", "Cuerpo de S3", "S3-S4", "Cuerpo de S4", "S4-S5" y "Cuerpo de S5". Variable cualitativa nominal.
- **Límite de la osteotomía superior:** A partir de la anterior variable se creó la variable que tomó los valores: "por debajo de S2" y "a nivel o por encima de S2". Variable cualitativa nominal.
- **Resección de la articulación sacroilíaca:** Se registró si se produjo la resección de la articulación sacroilíaca durante la cirugía. Tomó los valores: "No", "Izquierda", "Derecha" y "Bilateral". Variable cualitativa nominal.
- **Abertura del tumor intraoperatoria:** Obertura del tumor durante la cirugía. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa binaria.

### 3.1.3.8.3. RESECCIÓN DE PARTES BLANDAS

- **Resección piel:** Resección de la piel durante la cirugía. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Resección del recto:** Resección del recto durante la cirugía. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Resección del músculo erector de la columna:** Resección del músculo erector de la columna durante la cirugía. Tomó los valores: "No", "Derecho", "Izquierdo" o "Bilateral". Variable cualitativa nominal.
- **Resección del músculo piriforme:** Resección del músculo piriforme durante la cirugía. Tomó los valores: "No", "Derecho", "Izquierdo" o "Bilateral". Variable cualitativa nominal.
- **Resección del músculo glúteo:** Resección del músculo piriforme durante la cirugía. Tomó los valores: "No", "Derecho", "Izquierdo" o "Bilateral". Variable cualitativa nominal.
- **Sección ligamento sacrotuberoso:** Resección del ligamento sacrotuberoso durante la cirugía. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Sección ligamento sacroespinoso:** Resección del ligamento sacroespinoso durante la cirugía. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.

### 3.1.3.8.4. MANIPULACIÓN DE ESTRUCTURAS NERVIOSAS

- **Raíces amputadas:** Localización de las raíces amputadas durante la cirugía de forma intencionada o accidental. Pudo tomar los siguientes valores "Ninguna", "L5 (izquierda, derecha o bilateral)", "S1 (izquierda, derecha o bilateral)", "S2 (izquierda, derecha o bilateral)", "S3 (izquierda, derecha o bilateral)", "S4 (izquierda, derecha o bilateral)" y "S5 (izquierda, derecha o bilateral)". Variable cualitativa nominal.
- **Nivel más alto de amputación de raíces:** De la variable anterior se obtuvo otra variable, el nivel más alto de amputación de las raíces. Tomó los valores: "L5", "S1", "S2", "S3", "S4" o "S5". Variable cualitativa nominal.
- **Amputación de raíces no planificada:** Amputación de raíces de forma accidental durante la cirugía. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Lesión de la duramadre no intencionada:** Existencia de lesión de duramadre no intencionada. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.

### 3.1.3.8.5. CLASIFICACIÓN QUIRÚRGICA DE LAS RESECCIONES SACRAS

- **Clasificación de Fourney:** Clasificación de la sacrectomía de Fourney et al. (82). Tomó los siguientes valores: "Baja", "Media", "Alta", "Total", "Sacrectomía", "Excéntrico con resección total de la articulación sacroilíaca", "Excéntrico con resección parcial de articulación sacroilíaca" y "Excéntrico sin afectación de la articulación sacroilíaca". Variable cualitativa nominal.
- **Clasificación de Li:** Clasificación de la sacrectomía de Li et al. (199). Tomó los siguientes valores: "Tipo I", "Tipo II", "Tipo III", "Tipo IV" y "Tipo V". Variable cualitativa nominal.
- **Clasificación de Zhang:** Clasificación de la sacrectomía de Zhang et al. (202). Tomó los valores: "Ia", "Ib", "IIa" y "IIb". Variable cualitativa nominal.
- **Sacrectomía total:** Para parte del análisis del estudio se creó la variable sacrectomía total a partir de la codificación de la sacrectomía según Fourney et al. (82) recodificando las sacrectomías totales y las hemisacrectomías en sacrectomía total adoptando el valor 1 y el resto como sacrectomía subtotal adoptando el valor 0. Variable cualitativa nominal.

### 3.1.3.8.6. MANIPULACIÓN DE VASOS

- **Vasos ligados:** Se registraron los vasos que fueron ligados durante la cirugía. Variable cualitativa nominal.
- **Lesión vascular accidental:** Se registró si se produjo una lesión vascular accidental durante la cirugía. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.

### 3.1.3.8.7. MANIPULACIÓN DE VÍSCERAS

- **Lesión de vísceras:** Se registró si se produjo una lesión visceral durante la cirugía. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.

### 3.1.3.8.8. RESECCIÓN DE PARTES BLANDAS

- **Resección de piel:** Se registró si se produjo resección de piel durante la cirugía. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Resección de músculo erector de la columna:** Se registró si se produjo resección del músculo erector de la columna durante la cirugía. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Resección de músculo piriforme:** Se registró si se produjo la resección de algún músculo piriforme durante la cirugía. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Resección de músculo glúteo:** Se registró si se produjo resección de alguno de los músculos glúteos durante la cirugía. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Resección de ligamento sacrotuberoso:** Se registró si se produjo resección de alguno de los ligamentos sacrotuberosos durante la cirugía. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Resección de ligamento sacroespinoso:** Se registró si se produjo resección de alguno de los ligamentos sacroespinosos durante la cirugía. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.

### 3.1.3.8.9. MANIPULACIÓN DE RAÍCES

- **Raíces amputadas:** Se registró si se produjo la amputación de raíces durante la cirugía. Puede tomar los siguientes valores: "Ninguna", "L4 izquierda", "L4 derecha", "L5 izquierda", "L5 derecha", "S1 izquierda", "S1 derecha", "S2 izquierda", "S2 derecha", "S3 izquierda", "S3 derecha", "S4 izquierda", "S4 derecha", "S5 izquierda" y "S5 derecha". Variable cualitativa nominal.
- **Raíces amputadas salvadas codificada:** Se creó una variable que mostraba las raíces más altas salvadas en la cirugía. Tomó los siguientes valores: "Todas", "L4 y L5 derechas", "L5 bilateral", "S1 bilateral", "S2 bilateral", "S2 derecho" y "S3 bilateral". Variable cualitativa nominal.
- **Raíces S1 salvadas:** Se creó una variable que mostraba si las raíces S1 se salvaban durante la cirugía. Tomó los valores "No" y "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Raíces S2 salvadas:** Se creó una variable que mostraba si las raíces S2 se salvaban durante la cirugía. Tomó los valores "No" y "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Raíces S3 salvadas:** Se creó una variable que mostraba si las raíces S3 se salvaban durante la cirugía. Tomó los valores "No" y "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Raíces amputadas accidentalmente:** Se registró si se produjo una amputación accidental de raíces. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Lesión duramadre accidental:** Se registró si se produjo una lesión accidental de la duramadre. Puede tomar los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.

### 3.1.3.8.10. CIERRE DE HERIDA

- **Cierre por cirujano plástico:** Se registró si el cierre fue realizado por un cirujano plástico. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Tipo de cierre:** Se registró el tipo de cierre de la cirugía que se realizó. Tomó los valores: "Cierre primario", "Cierre por segunda intención", "Biomaterial", "Injerto libre", "Colgajo pediculado" y "Colgajo microvascularizado". Variable cualitativa nominal.
- **Colgajo miocutáneo:** Se registró la realización de un colgajo miocutáneo. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Tipo de colgajo miocutáneo:** Se registró el tipo de colgajo miocutáneo. Variable cualitativa nominal.
- **Número de drenajes tipo redón:** Se registró el número de drenajes tipo redón colocados. Variable cuantitativa discreta.
- **Aislamiento de herida con sistema VAC (Vacuum Assisted Closure):** Se registró si se había realizado un aislamiento de la herida con sistema VAC. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Antibiótico local al cierre:** Se registró si se administró antibiótico local en el momento del cierre de la herida. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.

### 3.1.3.9. PÉRDIDA DE SANGRE INTRAOPERATORIA Y POSOPERATORIA

- **Sangrado estimado intraoperatorio:** Se registró el sangrado intraoperatorio estimado en centímetros cúbicos (cc). Variable cuantitativa continua.
- **Sangrado estimado intraoperatorio categorizado:** El sangrado intraoperatorio se recodificó a partir de la variable anterior en "< 2900 cc" y "≥ 2900 cc". Variable cualitativa nominal.
- **Hemoglobina preoperatoria:** Se registró la cifra de hemoglobina preoperatoria en la analítica preoperatoria estimada en g/dl. Variable cuantitativa continua.
- **Hematocrito preoperatorio:** Se registró la cifra de hematocrito preoperatorio estimada en l/l. Variable cuantitativa continua.
- **Hemoglobina posoperatoria:** Se registró la cifra de hemoglobina posoperatoria estimada en g/dl. Se tomó el valor más bajo recogido durante los 3 días posoperatorios consecutivos. Variable cuantitativa continua.
- **Hematocrito posoperatorio:** Se registró la cifra de hematocrito posoperatorio estimado en l/l. Se tomó el valor más bajo recogido durante los 3 días posoperatorios consecutivos. Variable cuantitativa continua.
- **Número de concentrados de hematíes transfundidos en total:** Se registró el número de concentrados de hematíes transfundidos en total. Variable cuantitativa continua.

### 3.1.3.10. RECONSTRUCCIÓN ESPINOPÉLVICA

- **Reconstrucción espinopélvica:** Se registró si se realizó una reconstrucción espinopélvica. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Descripción de la reconstrucción:** Se registró la descripción de la reconstrucción espinopélvica realizada. Variable cualitativa nominal.
- **Injerto óseo:** Uso de injerto óseo en la reconstrucción espinopélvica. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa binominal.
- **Tipo de injerto óseo:** Se registró el tipo de injerto óseo. Tomó los valores: "Autoinjerto", "Injerto óseo vascularizado", "Aloinjerto", "Matriz ósea desmineralizada", "Proteína morfogenética", "Aspirado de médula ósea", "Fosfato tricálcico/hidroxiapatita", "Cemento/PMMA", "Cerámica" y "Otros". Variable cualitativa nominal.

### 3.1.3.11. ANÁLISIS HISTOLÓGICO DEL TUMOR TRAS LA RESECCIÓN

- **Histotipo del tumor tras la resección:** Se registró el histotipo del tumor a partir del informe de análisis histológico de la pieza tumoral tras la resección. Variable cualitativa nominal.
- **Márgenes de los bordes:** Descripción histopatológica de los bordes de la pieza resecada en la cirugía teniendo en cuenta el peor. Tomó los valores: "Intralesional", "Marginal" y "Amplio" según el sistema de Enneking (200). Se definió como intralesional si presentaba tejido patológico en el margen, marginal si el plano de resección se encontraba sobre una pseudocápsula y amplio si existía un borde de tejido sano alrededor del tumor. Variable cualitativa nominal.

### 3.1.3.12. ESTANCIAS

- **Estancia hospitalaria:** Se calculó a partir de la fecha ingreso y la de alta del hospital en días. Variable cuantitativa continua.
- **Estancia en Semicríticos/UCI (Unidad de Cuidados Intensivos):** Se calculó a partir de la fecha de ingreso y la de alta de los servicios de Reanimación o UCI, en días. Variable cuantitativa continua.

### 3.1.3.13. SEGUIMIENTO

Las variables del seguimiento se midieron: a los 30 primeros días después de la cirugía, a los 6 primeros meses, 1 año, 2 años y última fecha de seguimiento.

#### 3.1.3.13.1. DOLOR

- **EVA posoperatorio:** Se registró el valor de la escala EVA preoperatorio. Variable cuantitativa discreta.
- **Tipo de dolor posoperatorio:** Se registró el tipo de dolor. Tomó los siguientes valores: "Dolor axial puro", "Dolor neurogénico puro" y "Dolor axial y neurogénico". Variable cualitativa nominal. Variable cualitativa nominal.

#### 3.1.3.13.2. ESTADO NEUROLÓGICO

- **Función motora posoperatoria:** Se midió con la escala de Biagini modificada (313) (Tabla 9). Variable cualitativa ordinal.
- **Función vesical posoperatoria:** Se midió con la escala de Biagini modificada (313) (Tabla 10). Variable cualitativa ordinal.
- **Función intestinal posoperatoria:** Se midió con la escala de Biagini modificada (313) (Tabla 11). Variable cualitativa ordinal.
- **Función sexual posoperatoria:** Se registró la existencia de alteraciones de la función sexual en la historia clínica. Toma dos valores: "Normal", "Alterada" y "Desconocida". Variable cualitativa nominal.

#### 3.1.3.13.3. COMPLICACIONES

- **Complicaciones médicas:** Se registró la existencia de complicaciones médicas a partir de la historia clínica. Variable cualitativa nominal.
- **Complicaciones de la herida quirúrgica:** Se registraron las complicaciones de la herida quirúrgica. Puede tomar los siguientes valores "Hemorragia posoperatoria", "Seroma", "Dehiscencia de herida", "Infección superficial", "Infección profunda", "Necrosis márgenes de la herida" y "Fallo de colgajo". Variable cualitativa nominal.

- **Número de complicaciones mayores:** Se registró el número de complicaciones mayores. Se definió como complicación mayor aquella que afectó negativamente a la recuperación del paciente, alargó la estancia hospitalaria, requirió reingreso y/o una cirugía secundaria. Variable cuantitativa discreta.
- **Número de complicaciones menores:** Se registró el número de complicaciones menores. Se definió como complicación menor aquella que no altera la recuperación del paciente, no alargó la estancia hospitalaria, requirió reingreso y/o intervención secundaria. Variable cuantitativa discreta.
- **Número de reintervenciones:** Se registró el número de reintervenciones. Variable cuantitativa discreta.
- **Tipo de reintervenciones:** Se registró el tipo de reintervenciones. Variable cualitativa nominal.

#### 3.1.3.13.4. EVOLUCIÓN DEL SISTEMA DE RECONSTRUCCIÓN

- **Fusión ósea en TC:** Se registró la presencia de fusión ósea en TC. Toma los valores "No" o "Sí". Variable cualitativa binaria.

Los criterios de fusión ósea fueron:

- Criterios radiológicos: remodelación del injerto, modificaciones de la densidad del injerto y continuidad ósea en todas las pruebas de imagen.
- Criterios indirectos de reconstrucción estable: ausencia de pérdida de corrección o de deformidad progresiva, ausencia de radiolucencia alrededor del material de osteosíntesis y no fallo del implante.
- **Fallo del material de reconstrucción:** Se registró la presencia de fallo de reconstrucción espinopélvica. Tomó los valores "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Descripción del fallo de reconstrucción:** Se registró la descripción del fallo de reconstrucción espinopélvica. Variable cualitativa nominal.
- **Cirugía por fallo de reconstrucción:** Se registró la realización de la cirugía para resolver el fallo de reconstrucción espinopélvica. Tomó los valores "No" o "Sí". Variable cualitativa nominal.
- **Descripción de la nueva cirugía por fallo de reconstrucción:** Se registró la descripción de la cirugía realizada por fallo de reconstrucción espinopélvica. Variable cualitativa nominal.

#### 3.1.3.13.5. CONTROL DE LA LESIÓN AL FINAL DEL SEGUIMIENTO

##### 3.1.3.13.5.1. RECURRENCIA

- **Recurrencia:** Se registró la presencia de recurrencia. Tomó los valores: "No" o "Sí". Variable cualitativa binomial.
- **Tiempo de aparición de recurrencia:** Se calculó con la fecha de resección a la fecha del diagnóstico de la primera recurrencia, en meses. Variable cuantitativa continua.
- **Tratamiento de la recurrencia:** Se registró el tipo de tratamiento de la recurrencia a partir de la historia clínica. Tomó los valores: "No tratamiento", "Quimioterapia", "Radioterapia" y "Cirugía". Variable cualitativa nominal.

##### 3.1.3.13.5.2. METÁSTASIS

- **Tiempo de aparición de metástasis:** Se calculó desde la fecha de resección a la fecha del diagnóstico de la primera metástasis, en meses. Variable cuantitativa continua.
- **Localización de la metástasis:** Se registró la localización de la metástasis del tumor a partir de la historia clínica. Variable cualitativa nominal.
- **Tipo de tratamiento:** Se registró el tipo de tratamiento de la metástasis. Tomó los valores: "Quimioterapia", "Quimioterapia y cirugía", "Radioterapia" y "Cirugía" y "Radioterapia, quimioterapia y cirugía". Variable cualitativa nominal.

### 3.1.3.13.6. ESTADO AL FINAL DEL SEGUIMIENTO

- **Fecha de fallecimiento:** Se registró la fecha de fallecimiento.
- **Estado al final del seguimiento:** Se registró el estado del paciente al final del seguimiento. Tomó los valores: "Vivo libre de enfermedad", "Vivo con enfermedad" y "Fallecido". Variable cualitativa nominal.
- **Causa del fallecimiento:** Se registró la causa de fallecimiento. Tomó los valores: "Relacionada con la enfermedad", "Relacionada con el tratamiento de la columna", "No relacionada con la enfermedad" y "Relacionada con la cirugía". Variable cualitativa nominal.

### 3.1.4. RECOGIDA DE INFORMACIÓN

La información se obtuvo a partir de los datos registrados en historias clínicas en papel y en la electrónica.

En el Anexo II se adjunta la hoja de recogida de datos que se ha empleado.

### 3.1.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos fueron recogidos en Excel (Microsoft Inc, Seattle, WA) de forma retrospectiva. Posteriormente fueron procesados y analizados con el programa estadístico SPSS 22.0 (Statistical Package for Social Services, Chicago, IL).

El análisis de normalidad de las variables cuantitativas se realizó con el test Shapiro-Wilks, no cumpliendo condiciones de normalidad ninguna.

Las variables cuantitativas se describieron utilizando la mediana y el rango intercuartil (RIC) por no seguir una distribución normal. Las variables categóricas se expresaron en porcentajes.

La asociación entre dos variables continuas se realizó mediante el coeficiente de correlación de Spearman ( $\rho$ ).

La comparación de variables cuantitativas y dicotómicas en muestras apareadas se realizó con el test de Wilcoxon.

La comparación de variables cuantitativas y dicotómicas en muestras no apareadas se realizó mediante el test U de Mann-Whitney.

La comparación de proporciones en variables dicotómicas se realizó con el test Chi-cuadrado de Pearson en caso de cumplir las condiciones, en caso contrario se empleó del test exacto de Fisher.

La comparación de variables categóricas con más de 2 categorías con una variable dicotómica o categórica de más de dos categorías se realizó con el test de Ji-cuadrado de Pearson.

La comparación de variables categóricas con más de 2 categorías con variables cuantitativas continuas o variables cuantitativas discretas u ordinales se realizó con el test de Kruskal-Wallis.

La comparación de variables ordinales con datos apareados se realizó con el test de Friedman.

Las tasas de supervivencia global (SG), la supervivencia libre de enfermedad (SLE) y la supervivencia libre de metástasis (SLM) fueron calculadas mediante el método actuarial de tablas de vida.

El análisis univariante de la supervivencia se realizó mediante curvas de supervivencia de Kaplan-Meier con el test de log-rank.

No se pudieron realizar análisis multivariantes por no cumplir criterios para ello.

Para todos los test se consideró significación cuando  $p < 0,05$ .

## 3.2. ESTUDIO BIOMECÁNICO EXPERIMENTAL

El estudio biomecánico experimental consistió en el diseño de una pieza sustitutiva de sacro y la realización de tres estudios biomecánicos experimentales en el Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV):

- Estudio con método de elemento finitos (MEF)
- Estudio de fatiga con modelo de poliamida
- Estudio de fatiga en cadáver

### 3.2.1. DISEÑO DE LA PIEZA SUSTITIVA DEL SACRO

#### 3.2.1.1. OBJETIVO

El objetivo de la creación de la pieza sustitutiva de sacro fue diseñar un implante que permitiera una distribución de cargas de la columna lumbar a la pelvis que redujera las tensiones en el instrumental y que fuera un sistema lo suficientemente robusto para permitir la movilización precoz del paciente y disminuir el número de cirugías de revisión por fallo del material de reconstrucción.

#### 3.2.1.2. DISEÑO CONCEPTUAL

En la Ilustración 54 se aprecia el diseño conceptual de la pieza. Esta presenta una forma anatómica emulando la morfología de la vértebra S1, siguiendo las indicaciones del grupo clínico. Se decidió no modelar la parte inferior del sacro por haberse demostrado en anteriores estudios que la estabilidad lumbopélvica en caso de sacrectomía la proporciona la primera vértebra sacra. De esta forma, al no modelar el sacro entero, se reducía el peso de la pieza y se evitaban interferencias con estructuras nerviosas..

Se decidió que la pieza se fabricara con una parte central de titanio macizo para soportar cargas altas y una parte periférica, la que contactaba con la pelvis de titanio poroso, la que contactaba con la pelvis y la columna vertebral, para facilitar la osteointegración.

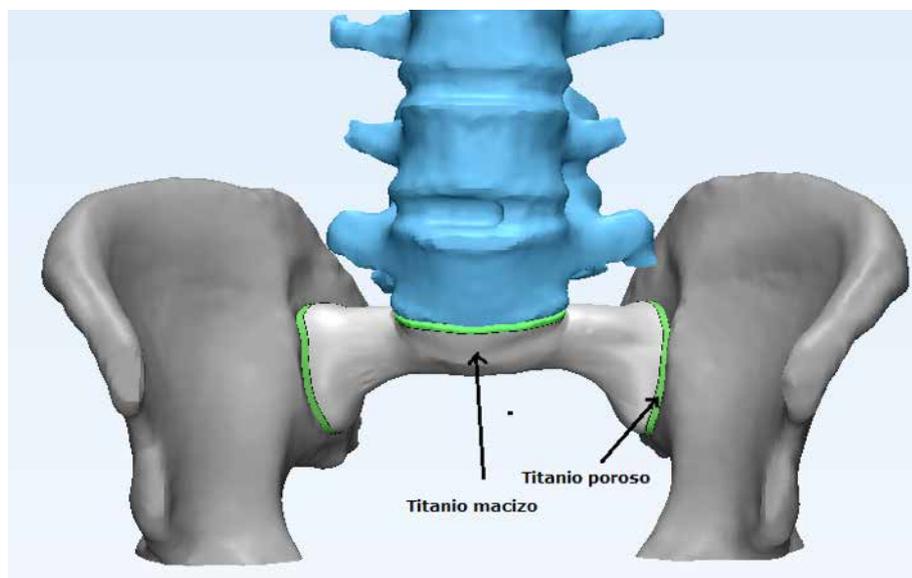


Ilustración 54. Diseño conceptual de la pieza sustitutiva de sacro

### 3.2.1.3. PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE LA PIEZA

La ilustración 55 muestra el resumen del proceso de diseño y fabricación de la pieza.



Ilustración 55. Resumen del proceso de diseño y fabricación de la pieza sustitutiva del sacro

#### 3.2.1.3.1. RECONSTRUCCIÓN DE SACRO, PELVIS Y COLUMNA LUMBAR

El punto de partida de diseño de la pieza sustitutiva del sacro fue la reconstrucción de la columna lumbar, el sacro y la pelvis generada por un modelo tridimensional a partir de la TC de un paciente de con un tumor sacro primario antes de la resección (caso 4, varón de 50 años afecto de un cordoma sacro que fue sometido a una sacrectomía total). A partir de la TC se reprodujo el diseño de la posición de la columna y de la pelvis y la forma de los segmentos superiores del sacro (Ilustración 56).

La columna, la pelvis y el sacro se reconstruyeron con el programa MIMICS 17 y los datos fueron exportados a 3-MIMICS 9.0, el programa con el que se realizó el diseño finalmente.

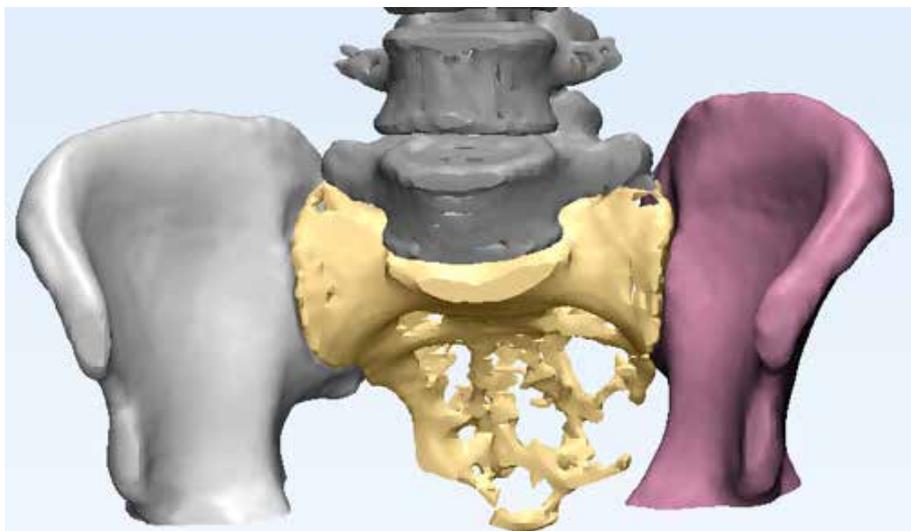


Ilustración 56. Pelvis, columna y sacro reconstruidos antes de la sacrectomía.

### 3.2.1.3.2. DISEÑO DE LA PIEZA SUSTITUTIVA

En primer lugar, se reconstruyó la superficie base de la pieza sustitutiva según la anatomía de la primera vértebra sacra para conseguir un buen apoyo en la pelvis y en la columna vertebral y mantener la posición y la mPI del paciente (Ilustración 57). Se le dio una morfología adecuada para evitar las interferencias de la pieza entre las apófisis transversas de L5 y permitir el paso de las raíces de L5 evitando ser lesionadas por la pieza.

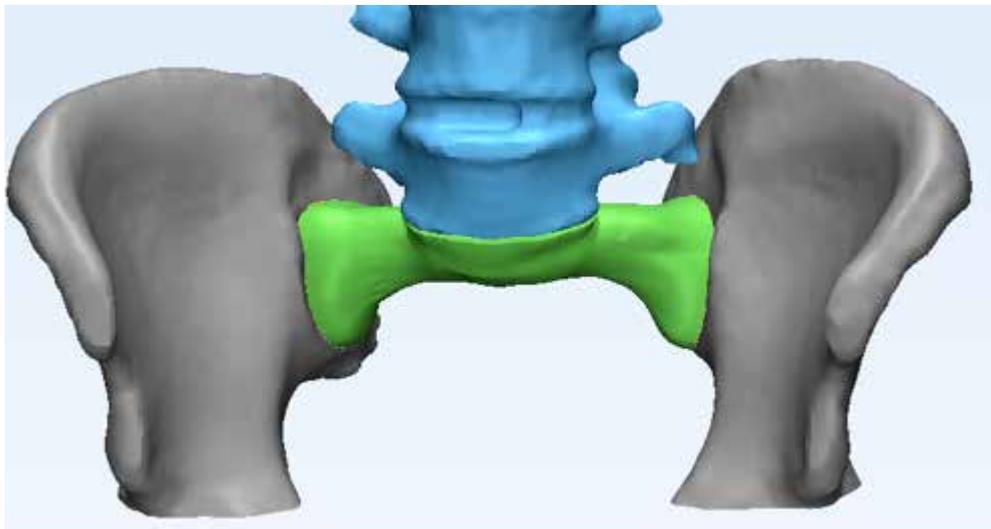


Ilustración 57. Superficie base para el diseño de la pieza sustitutiva del sacro

En segundo lugar, se diseñaron las zonas porosas (áreas de contacto con la pelvis y la columna) de la pieza de sustitución sacra, dejando unas bandas para favorecer la osteointegración (Ilustración 58).

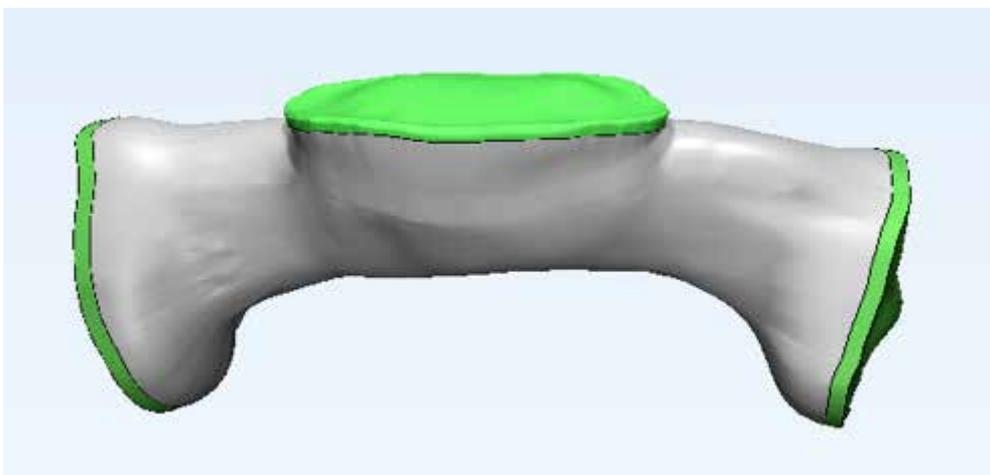
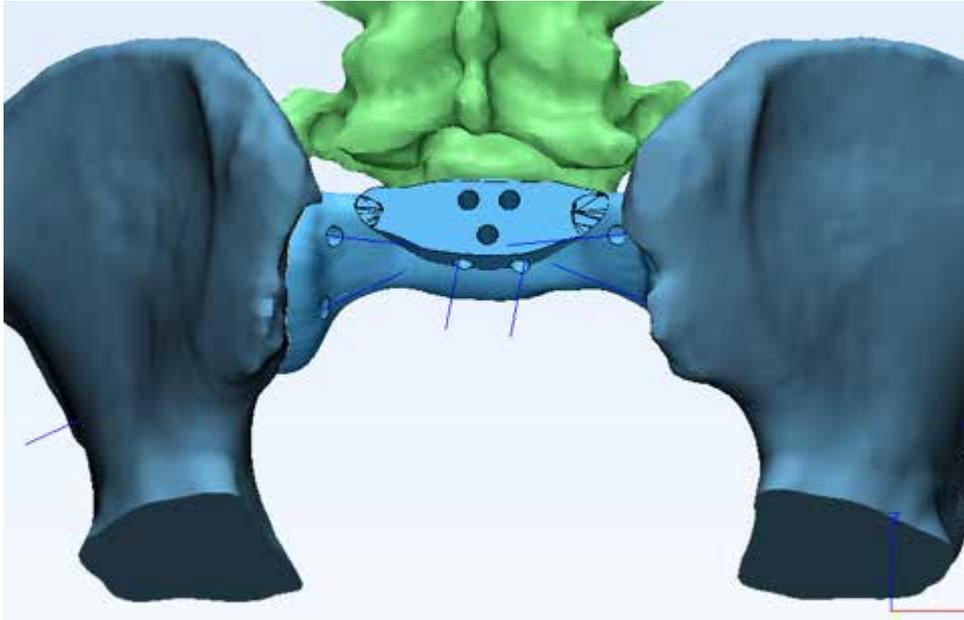


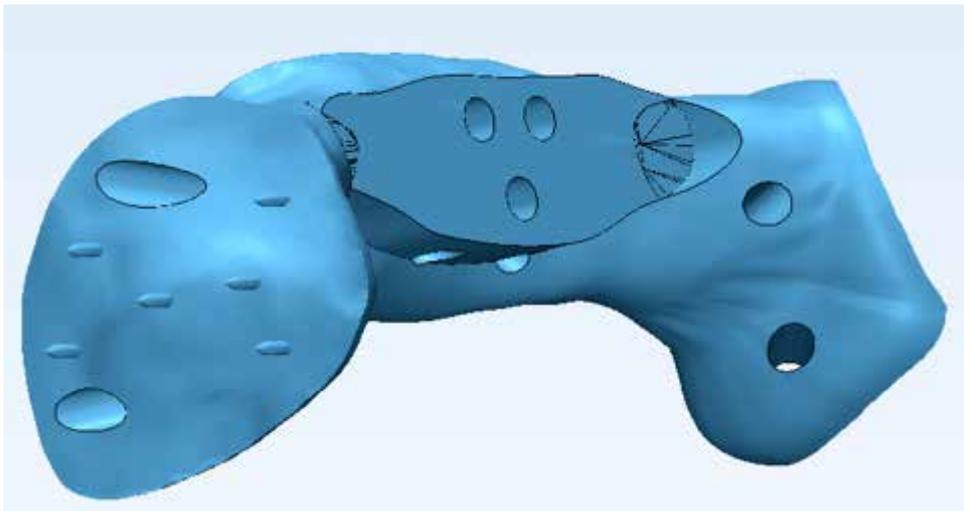
Ilustración 58. Detalle de la pieza (gris= zona de titanio macizo, verde= zona de titanio poroso)

En tercer lugar, se definió la posición de los orificios para los tornillos dirigidos al cuerpo de L5 e ilíacos y se realizaron con taladros. Se dejó una superficie plana en la parte posterior para fijar una placa que mediante 2 barras verticales el cuerpo de la pieza sustitutiva a los tornillos pediculares de L4 y L5 para mejorar la estabilidad del montaje ante esfuerzos de flexión en el plano sagital (Ilustración 59).



*Ilustración 59. Detalle de los orificios de taladros y la zona plana en la pieza sustitutiva de sacro*

En cuarto lugar, para facilitar el agarre de la pieza a la pelvis se diseñaron unas zonas punzantes de titanio macizo para facilitar la transmisión de la carga entre las partes y evitar movimientos indeseados (Ilustración 60).



*Ilustración 60. Diseño final de la pieza sustitutiva del sacro*

A continuación, se muestran los ficheros generados con la parte sólida y la porosa, así como los soportes diseñados para su correcta fabricación (Ilustración 61 y 62).

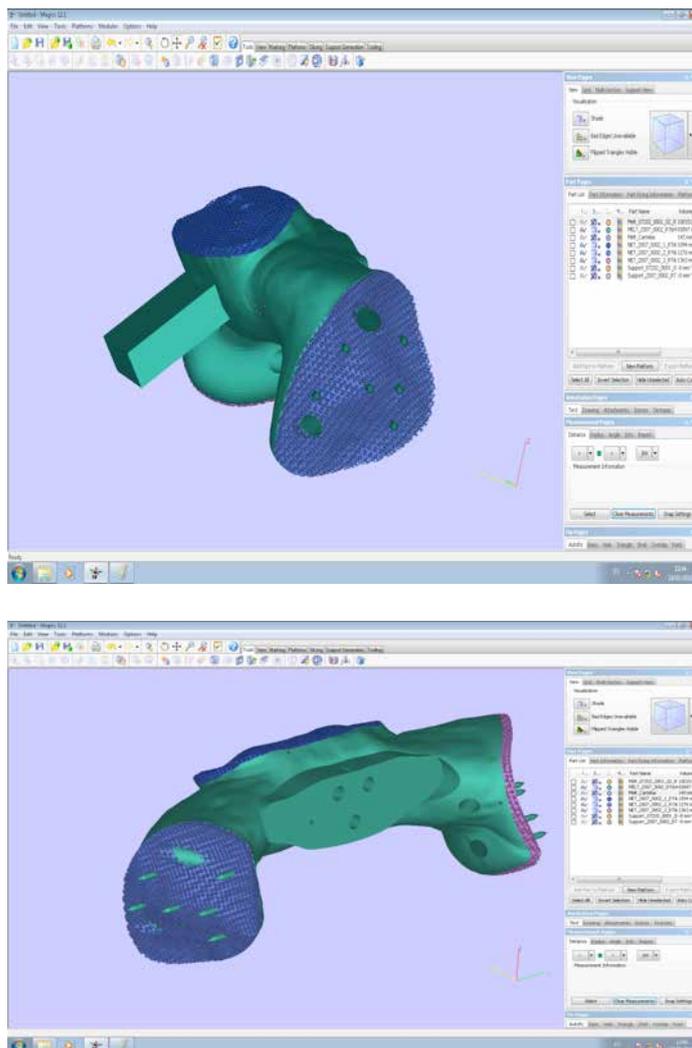


Ilustración 61. Generación de ficheros para la fabricación de la pieza sustitutiva del sacro (zona sólida y porosa).

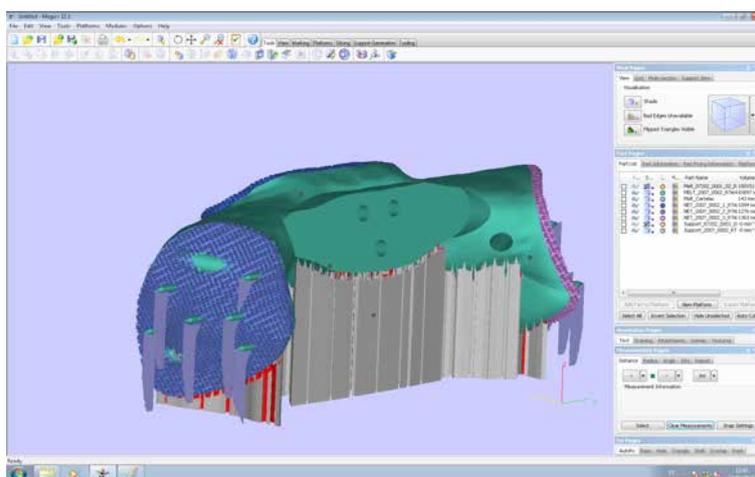


Ilustración 62. Diseño de soportes de la pieza sustitutiva del sacro

### 3.2.1.4. PROCESO DE FABRICACIÓN ADITIVA DE LA PIEZA

Empleando los ficheros creados se llevó a cabo la fabricación de la pieza sustitutiva del sacro con la aleación de titanio  $Ti6Al4V$  y se procesó con la tecnología Electron Beam Melting (EBM) (proceso de fusión por haz de electrones).

La pieza sustitutiva del sacro fue construida con titanio estándar en el centro y titanio poroso en las áreas de contacto (L5 y pelvis) a partir del modelo de la pelvis del paciente real (caso 4) empleando el programa de reconstrucción 3D-matic de Materialise.

### 3.2.1.5. ACABADO DE LA PIEZA SUSTITUTIVA

Tras su fabricación se extrajo la pieza de la máquina, se eliminaron los soportes, se realizaron los mecanizados de los orificios de la pieza, se arenó para mejorar la calidad de la superficie de la misma y, finalmente, se le aplicó una limpieza química para garantizar la ausencia de polvo de titanio en la zona de la estructura.

En las Ilustraciones 63 y 64 se muestran imágenes de la pieza sustitutiva del sacro tras su extracción de la máquina de EBM.



Ilustración 63. Diseño de la pieza sustitutiva de sacro con los soportes.



Ilustración 64. Pieza sustitutiva de sacro sin soportes

### 3.2.1.6. TÉCNICA DE FABRICACIÓN ADITIVA

La técnica EBM es una técnica de fabricación aditiva conceptualizada y patentada por Arcam AB, con sede en Suecia. Las aplicaciones de las piezas fabricadas con EBM son muy diversas, siendo su punto fuerte piezas de gran volumen en el sector aeronáutico/aeroespacial, automoción, bienes de equipo, maquinaria a medida, moldes y matrices, electrónico y productos de consumo, como implantes médicos, algunos ya certificados e implantados en multitud de casos (336).

El proceso emplea un haz de electrones para fundir el polvo de metal capa por capa dentro de una cámara de vacío (337). El vacío asegura una alta pureza que proporciona un entorno libre de oxígeno reduciendo su efecto sobre los objetos. Esta característica es muy beneficiosa para la fabricación de piezas de Ti6Al4V debido a que se pueden controlar los niveles de elementos intersticiales durante la fabricación creando piezas completamente densas, sin atrapamiento de aire, y muy fuertes (338). Las altas temperaturas a las que se realiza el procedimiento (aproximadamente 700°C) reducen las tensiones residuales y, por lo tanto, la distorsión y deformación (338).

El sistema EBM está formado por un cañón de electrones que proyecta un haz controlado por lentes electromagnéticas y el movimiento de la mesa de construcción (338) (Ilustración 65). Para la fabricación de la pieza se extiende una capa de polvo de 100  $\mu$  de grosor sobre la mesa y las lentes permiten enfocar, dirigir y regular la intensidad del haz de electrones (338). Posteriormente se van fusionando las capas. La máquina EBM construye la pieza según un diseño asistido por computadora (CAD, computer aided design) (338).

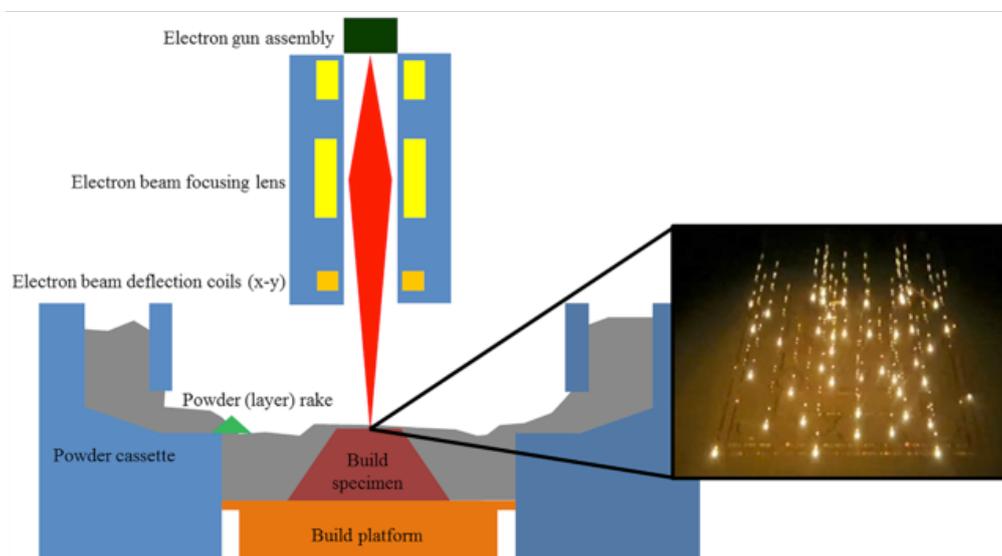


Ilustración 65. Sistema EBM. Tomado de Sing et al. (338)

Las principales diferencias de la técnica EBM respecto a la otra técnica de fabricación aditiva, como es la tecnología con láser, son la temperatura del polvo y el ambiente de vacío. La temperatura de polvo es de 700°C aproximadamente, implicando un menor salto térmico respecto a la temperatura de fusión, mejorando así las propiedades mecánicas y la microestructura de las piezas. El ambiente de vacío es necesario para mantener la dirección y enfoque del haz de electrones, permite la ausencia de oxígeno en la fabricación de piezas de materiales reactivos al oxígeno como el titanio y además permite que tengan una alta pureza.

Para favorecer la osteointegración de la pieza sustitutiva de sacro fabricada su superficie de contacto con la pelvis y la columna lumbar posee poros de tamaños adecuados e interconexiones que permiten la colonización por neovascularización y células osteoblásticas y osteoclasticas. Además, también deben permitir la difusión de nutrientes y gases junto con la remoción de metabolitos propios de la actividad celular. Estas porosidades van desde los 100-150 µm en el hueso cortical, y de 500-600 µm en el hueso esponjoso. Esto puede ser controlado por un programa CAD que posibilita generar estructuras de diferentes geometrías y diseños y con tamaños de poro definidos.

Se ha demostrado que la aleación de titanio (Ti6Al4V) tratado con EBM presenta una buena biocompatibilidad, estimula la adhesión, el crecimiento y la diferenciación celular (339), (340), (341). Además proporciona una buena citocompatibilidad, biocompatibilidad sanguínea, y da propiedades no sensibilizantes ni irritantes tanto in vivo como in vitro (341).

El sistema EBM presenta una serie de ventajas:

1. Permite la fabricación de productos complejos, conformas nuevas, estructuras huecas y materiales de gradiente que no son posibles de otra forma (338).
2. Permite la obtención de productos hechos a medida y en series cortas, crear estructuras complejas y formas geométricas con ayuda de un programa informático sin emplear herramientas y moldes, ahorrando tiempo, material, disminuyendo los costes económicos y el tiempo de puesta en el mercado (338), (342).
3. Da materiales con unas excelentes propiedades posibilitando su combinación (338).

No obstante, también presenta las siguientes limitaciones:

1. Es necesario adquirir los datos para el diseño del paciente
2. El diseño depende de la porosidad en implantes osteoinductivos.  
El tamaño y la arquitectura de los microporos son esenciales para facilitar la osteoinducción (promoción de la diferenciación de las células progenitoras en un linaje osteoblástico), osteoconducción (soporte y fomento del crecimiento del hueso que rodea el implante) y osteointegración (integración al hueso que lo rodea) (343), (344), (345), (346).
3. La topología de la superficie de los implantes de fabricación aditiva.
4. El diseño para la reducción del estrés de blindaje en los implantes.

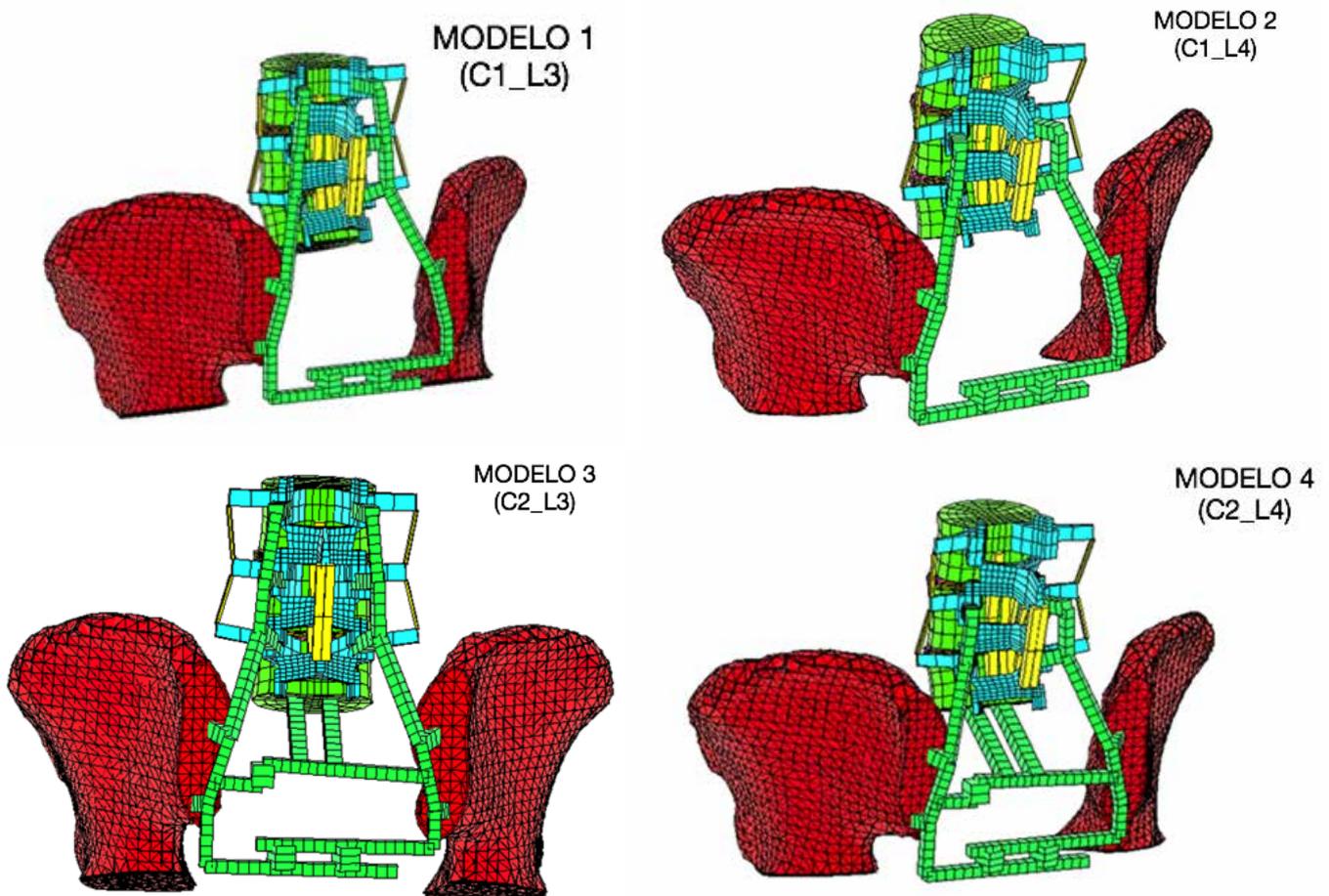
Aunque el sistema EBM en la fabricación de implantes todavía no está muy extendido, progresivamente se va incrementando la cantidad de productos ortopédicos que se están comercializando: rodilla, cadera, reemplazamientos de mandíbula y placas maxilofaciales (347), (348), (349). Algunos, como las copas acetabulares, ya han obtenido la aprobación de la FDA en Estados Unidos de América y el certificado de Conformidad Europea desde el 2010 y el 2007 respectivamente (338).

### 3.2.2. ESTUDIO CON MODELO DE ELEMENTOS FINITOS

Tras el diseño de la pieza sustitutiva de sacro se realizó un estudio con MEF en el que se analizaron 6 modelos de reconstrucción espinopélvica basándonos en el caso 4 (Ilustración 66).

- **MODELO 1 (C1\_L3):** Reconstrucción con 2 barras en L unidas en forma de horquilla con 2 conectores, tornillos pediculares en L3, L4 y L5 y 2 tornillos ilíacos bilaterales.
- **MODELO 2 (C1\_L4):** Reconstrucción con 2 barras en L unidas en forma de horquilla con 2 conectores, tornillos pediculares en L4 y L5 y 2 tornillos ilíacos bilaterales.
- **MODELO 3 (C2\_L3):** Reconstrucción con 2 barras en L conectadas en forma de horquilla con 2 conectores, una barra proximal de unión entre las dos barras con 2 tornillos al cuerpo de L5 y fijación con tornillos pediculares en L3, L4 y L5.
- **MODELO 4 (C2\_L4):** Reconstrucción con 2 barras en L conectadas en forma de horquilla con 2 conectores, una barra transversal proximal de unión entre las dos barras con 2 tornillos al cuerpo de L5 y fijación con tornillos pediculares en L4 y L5.
- **MODELO 5:** Técnica novedosa que reemplaza el sacro por una pieza sustitutiva de titanio macizo y poroso, fabricada mediante técnicas de prototipado rápido, que permite un apoyo directo entre la columna vertebral y la pelvis, fijación con tornillos pediculares en L4 y L5, 2 tornillos ilíacos bilaterales, 2 tornillos de fijación al cuerpo de L5 y 2 barras verticales uniendo tornillos pediculares a la pieza sustitutiva del sacro.
- **MODELO 6:** Técnica novedosa que reemplaza el sacro por una pieza sustitutiva de titanio macizo y poroso, fabricada mediante técnicas de prototipado rápido, que permite un apoyo directo entre la columna vertebral y la pelvis, fijación con tornillos pediculares en L4 y L5, 2 tornillos ilíacos bilaterales, 2 tornillos de fijación al cuerpo de L5, 2 barras verticales uniendo tornillos pediculares a la pieza sustitutiva del sacro y barra de fijación transilíaca.

Los Modelos 1, 2, 3 y 4 se inspiraron en la técnica CLT descrita por Varga et al. (211).



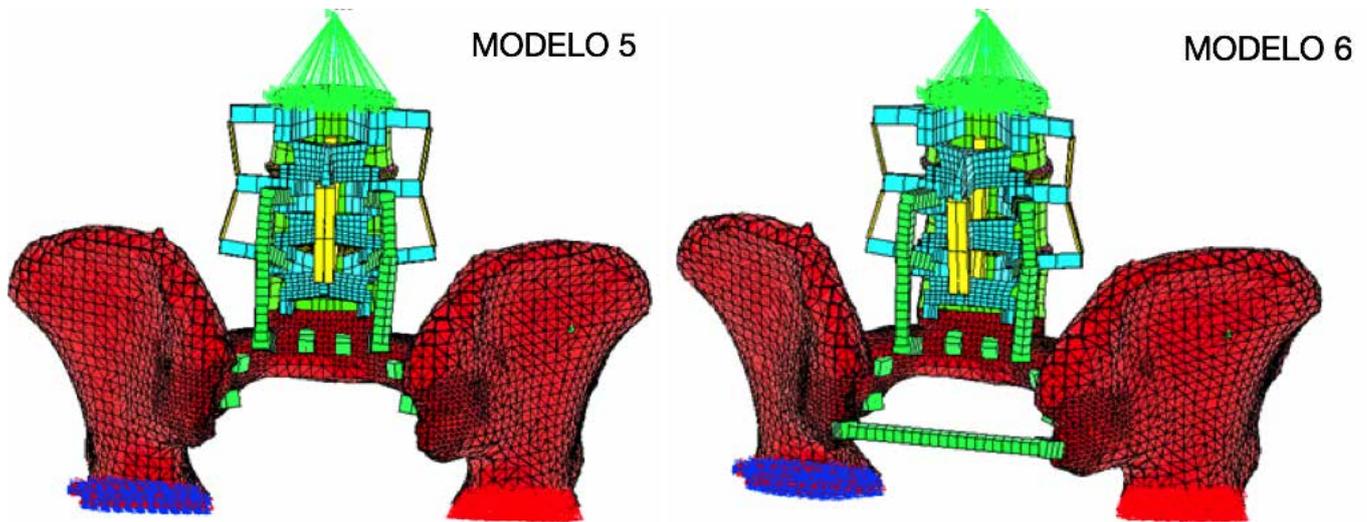


Ilustración 66. Modelos MEF de reconstrucción espinopélvica

### 3.2.2.1. RECONSTRUCCIÓN TRIDIMENSIONAL DE LA COLUMNA Y LA PELVIS

La geometría del mallado de los elementos finitos de la columna lumbar y de la pelvis se obtuvo a partir de cortes de 2 mm de imágenes de TC y de la radiografía simple de L3 a pelvis del caso 4, varón de 50 años afecto de cordoma sacro que fue sometido a una sacrectomía total, según la clasificación de Fourney et al. (82), y reconstrucción espinopélvica instrumentada.

En la primera cirugía se realizó una reconstrucción con el Modelo 2 (Ilustración 67). Posteriormente, las dos barras en L se rompieron en la zona de unión de los tornillos pediculares de L5 y los tornillos ilíacos proximales (Ilustración 68), por lo que se decidió realizar una segunda reconstrucción usando una segunda técnica quirúrgica (Modelo 4) (Ilustración 69).

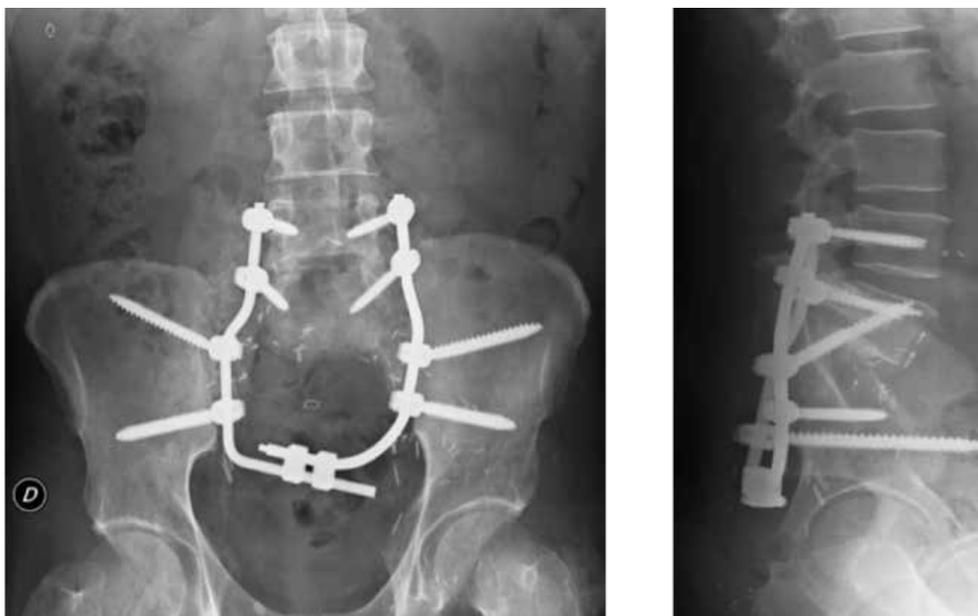


Ilustración 67. Radiografía simple ánteroposterior y lateral de la reconstrucción espinopélvica en el caso 4 con el Modelo 2.

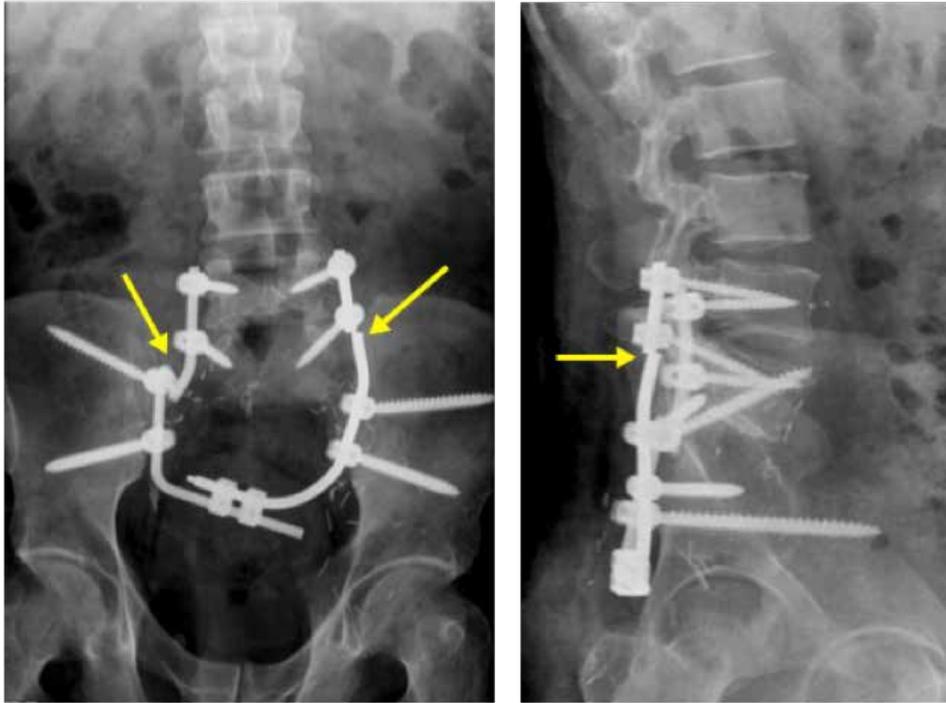


Ilustración 68. Radiografía simple ánteroposterior y lateral de la reconstrucción espinopélvica en el caso 4 con la rotura de barras de la primera reconstrucción (Modelo 2).

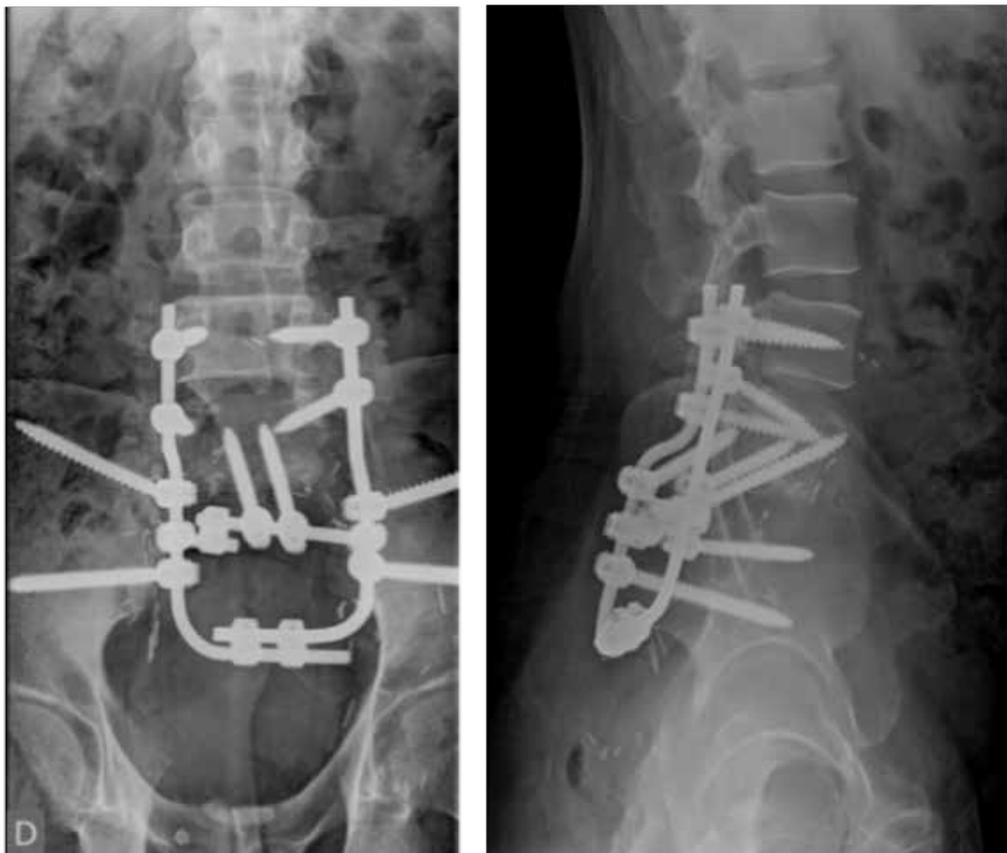


Ilustración 69. Radiografía simple ánteroposterior y lateral de la reconstrucción espinopélvica en el caso 4 tras la reparación del fallo del instrumental con el Modelo 4.

### 3.2.2.2. MODELADO DE ESTRUCTURAS ANATÓMICAS E IMPLANTES

Para el modelado de las estructuras anatómicas e implantes se empleó el programa de elementos finitos ANSYS 12.1.

#### 3.2.2.2.1. MODELADO DE LAS ESTRUCTURAS ANATÓMICAS

La columna lumbar modelada estaba formada por las vértebras L2, L3, L4 y L5, los discos intervertebrales, los platillos vertebrales, los elementos vertebrales posteriores y la parte superior de los 2 ilíacos.

##### 3.2.2.2.1.1. MODELADO DE LA COLUMNA LUMBAR

El modelado de la columna lumbar se realizó con el modelo MEF validado por el IBV (350).

##### 3.2.2.2.1.1.1. VÉRTEBRAS LUMBARES

El raquis lumbar modelado incluyó 4 vértebras lumbares L2, L3, L4 y L5. Las vértebras se dividieron para el modelo según MEF en zonas: hueso trabecular y cortical en cuerpo vertebral, carillas articulares y hueso trabecular posterior (Ilustración 70). Las características mecánicas de cada una de ellas se muestran en la Tabla 12 y depende de la densidad del hueso (Ilustración 70).

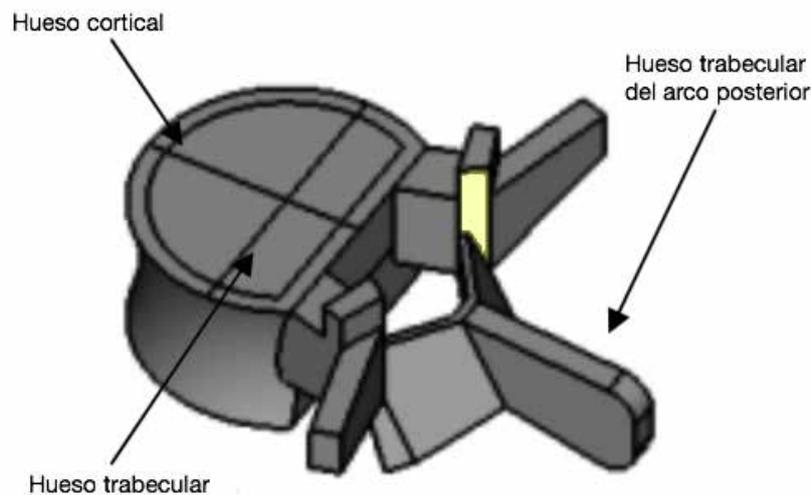


Ilustración 70. Vértebra del modelo según MEF con sus diferentes zonas.

Tabla 12. Características de los materiales empleados para modelar un cuerpo vertebral (351).

Estructura	E (MPa)	G (MPa)	$\nu$ (MPa)
Hueso cortical y carillas articulares	12000	4615	0,3
Hueso trabecular	100	41,7	0,2
Hueso trabecular del arco posterior	3500	1400	0,25

E: módulo de Young; G: módulo a cortantes;  $\nu$ : coeficiente de Poisson

Para el hueso cortical se emplearon elementos SHELL superficiales (SHELL63) con un espesor de 2 mm.

Para el contacto entre las carillas articulares se emplearon elementos CONTA173 y TARGE170.

### 3.2.2.2.1.1.2. DISCO INTERVERTEBRAL

El disco intervertebral está dividido en tres zonas: núcleo pulposo, placas terminales y el anillo fibroso. Este está formado por capas concéntricas de fibras de colágeno que se alternan en capas sucesivas. Para cada capa la orientación media es de  $30^\circ$  respecto del plano del disco, formando unos  $120^\circ$  entre ellas (Ilustración 71).

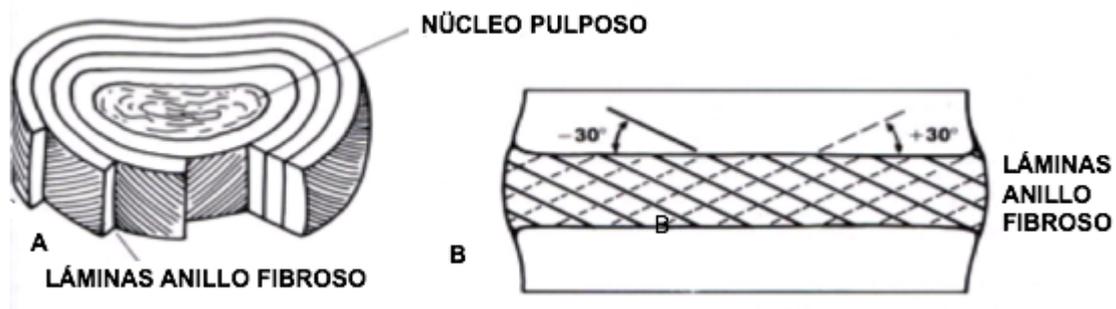


Ilustración 71. Disco intervertebral. (A) Corte sagital. (B) Corte axial.

Para modelar el disco y, dada la discrepancia de las características de los diferentes autores (351), (352), (353), (354), (355), (356), (357), (358), se aplicaron las siguientes características mecánicas: para el anillo fibroso el módulo de Young fue de 2 MPa y el coeficiente de Poisson de 0,45, el módulo elástico 650 MPa y la sección de las fibras de  $1 \text{ mm}^2$ . Para el núcleo pulposo el módulo elástico fue de 0,25 MPa y el coeficiente de Poisson de 0,499. Las placas terminales se modelaron con las características mecánicas del hueso cortical.

Como modelar el anillo fibroso mediante capas resultaría muy complejo, en el modelo según MEF se simplificó el proceso, considerando que es homogéneo e isótropo, pero modelando las fibras de colágeno como elementos cable de 2 nodos tipo LINK10 situados en su contorno exterior e interior. El número total de elementos cable utilizados en cada una de las capas fue de 30 para la externa y 28 para la interna.

Al núcleo pulposo del disco se le dio forma elíptica presentando un radio mayor (RM) de 0,35 veces la anchura posterior del disco (D) (359) y el radio menor Rm se ajustó con la relación  $Rm = RM / 1,36$  (Ilustración 72). Estos dos parámetros se modificaron para cada uno de los discos intervertebrales del modelo como se indica en la Tabla 13.

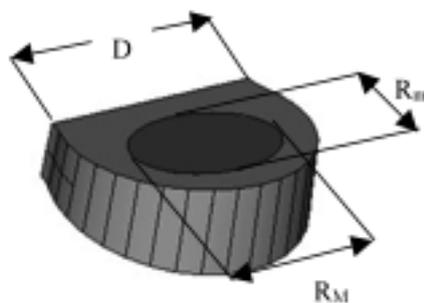


Ilustración 72 Dimensiones del disco intervertebral

Tabla 13. Dimensiones del núcleo pulposo del disco intervertebral.

	L2-L3	L3-L4	L4-L5
$R_M$ (mm)	13,3	12,8	12,5
$R_m$ (mm)	9,8	9,4	9,2

$R_M$ : radio mayor;  $R_m$ : radio menor

Las dimensiones medidas en las imágenes de TC que fueron usadas para modelar la columna se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Medidas de las vértebras y coordenadas

	Anchura lateral vértebra (mm)	Anchura antero-posterior vértebra (mm)	Altura vértebra (mm)	Coordenada X del punto posterior inferior de cada vértebra (*)	Coordenada Y del punto posterior inferior de cada vértebra (*)	Ángulo de cada vértebra con respecto al suelo (*)
L1	47	32,1	29,6	86,3	-256,6	4,7
L2	50	32,3	29	92,2	-292,9	3,5
L3	53	35,9	30	95,9	-329,9	1
L4	54	34,9	30,5	101,5	-365,1	-8
L5	56	33,5	25,3	98,9	-399,4	-22
S1				88,9	-424,8	-42,5

(\*) Respecto al eje de coordenadas de la TC

Para modelar la región lumbosacra se utilizó el programa de elementos finitos ANSYS 12. Se emplearon elementos tetraédricos de primer orden (4 nodos SOLID45). El tamaño medio de los elementos fue de 15 mm y el número final de elementos generados por el mallado libre fue de 11076.

### 3.2.2.2.1.1.3. LIGAMENTOS

Los ligamentos tienen un comportamiento no lineal, de forma que ante pequeñas deformaciones presentan un bajo módulo elástico y a partir de una determinada deformación su módulo elástico aumenta notablemente (360). En la Tabla 15 se presentan las características de los ligamentos empleados para la unidad vertebral funcional L3-L4.

Tabla 15. Características de los ligamentos para la unidad vertebral funcional L3-L4 (361).

Ligamentos	$E_l$ (MPa)	$\varepsilon_l$ (%)	$E_T$ (MPa)	Área total (mm <sup>2</sup> )	Número de elementos barra	Sección por barra (mm <sup>2</sup> )
LS	8	20	15	30,0	2	15
LI	10	25	11,6	40,0	4	10
LLA	7,8	12,5	20	63,7	2	30
LLP	10	11	20	20,0	2	10
LA	15	6,2	19,5	40,0	2	20
LT	10	18	58,7	1,8	4	0,5
LC	7,5	25	32,9	30,0	8	4

$E_l$ : Módulo elástico;  $\varepsilon_l$ : deformación;  $E_T$ : módulo elástico de ligamento

LS: Ligamento supraespinoso. LI: Ligamento Interespinoso. LLA: Ligamento longitudinal anterior. LLP: Ligamento longitudinal posterior. LA: Ligamento amarillo. LT: Ligamento transverso. LC: Ligamento capsular.

El mallado de los ligamentos se realizó con el programa I-DEAS utilizando elementos barra, al carecer este programa de elementos cable. Una vez realizado el mallado del modelo se exportó al programa ANSYS 5.5, donde fue posible simular su comportamiento mediante elementos cable tipo LINK10.

### 3.2.2.2.1.2. MODELADO DE LA PELVIS

Los datos geométricos para la modelación de la parte superior de ambos ilíacos fueron obtenidos a partir de la TC del paciente empleando los programas Mimics®, 3-D Matic y Rhinoceros®.

El hueso cortical de la pelvis fue mallado con elementos SHELL de 2 mm de grosor (362). El módulo de Young y el coeficiente de Poisson fueron 150 N/mm<sup>2</sup> y 0,2 respectivamente (363), (364), (365), (366).

El hueso trabecular de la pelvis fue mallado con elementos tetraédricos de primer orden (4 nodos SOLID45). El módulo de Young y el cociente de Poisson fueron de 18000 N/mm<sup>2</sup> y 0,3 respectivamente (363), (364), (365), (366).

### 3.2.2.2.2. MODELADO DE LOS IMPLANTES

El modelado de los tornillos pediculares, conectores y barras de fijación se realizó con elementos unidimensionales tipo barra de 2 nodos (BEAM4). La sección y las características de estos elementos dependieron del material al que simulaban. En la Ilustración 73 se muestra el montaje definitivo.

La Tabla 16 muestra las propiedades de los elementos de fijación (tamaño y material) y la Tabla 17 muestra las propiedades de los materiales empleados.

En cuanto a los tornillos (pediculares e ilíacos) y barras, se empleó una aleación de titanio (Ti6Al4V). Las barras verticales, las barras en L y la barra transilíaca fueron de CoCr. Los conectores (2 de unión entre las barras en L y 2 de unión entre las barras en L entre los ilíacos y unidos a los tornillos de L5) eran de Ti6Al4V.

La pieza de sustitución del sacro fue construida con titanio estándar y titanio poroso en las áreas de contacto (L5 y pelvis). El contacto entre el sacro de titanio y la pelvis fue modelado usando TARGE170 y CONTA173.



Ilustración 73. Montaje definitivo

Tabla 16. Propiedades de los elementos de fijación (diámetro y material de tornillos y barras)

Elementos	Diámetro (mm)	Material
Barras	5,5	CoCr (Co28Cr6Mo)
Tornillos pediculares	7	Titanio (Ti6Al4V)
Tornillos ilíacos	7,5	Titanio (Ti6Al4V)
Conectores		Titanio (Ti6Al4V)

Tabla 17. Propiedades del material de CoCr, Titanio ([www.3trpd.co.uk](http://www.3trpd.co.uk)) y el titanio poroso (medido por IBV)

Material	Módulo de Young (GPa)	Límite de elasticidad de Yield (MPa)	Tensión de rotura (MPa)	Coefficiente de Poisson
Co28Cr6Mo	220	925	1200	0,45
Ti6Al4V	115	1000	1050	0,3
Titanio poroso	3	180	230	0,33

### 3.2.2.3. MODELADO DE LOS SISTEMAS DE RECONSTRUCCIÓN

El Modelo 1 estaba formado por 258 elementos instrumentación, 42.000 elementos totales aproximadamente. El Modelo 2 estaba formado por 276 elementos, 42.000 elementos totales aproximadamente. El Modelo 3 estaba formado por 292 elementos, 42.000 elementos totales aproximadamente. El Modelo 4 estaba formado por 310 elementos, 42.000 elementos totales aproximadamente. El Modelo 5 estaba formado por 230 elementos, 180.000 elementos totales aproximadamente. El Modelo 6 estaba formado por 270 elementos, 180.000 elementos totales aproximadamente.

Para todas las reconstrucciones, los tornillos fueron bloqueados al hueso.

A partir de las imágenes de radiografías y TC se obtuvo el modelo tridimensional de los tornillos que se importó directamente al programa 3-Matic, a través del cual se extrajeron las líneas que definían cada tornillo y se importaron directamente a ANSYS.

#### 3.2.2.3.1. POSICIÓN DE LOS IMPLANTES

A continuación, se describe la posición de los implantes:

##### a. Tornillos pediculares e ilíacos

En todos los modelos se emplearon tornillos pediculares en L3, L4 y L5 en los Modelos 1 y 3, y en L4 y L5 en los Modelos 2, 4, 5 y 6. Se emplearon 2 tornillos ilíacos bilaterales en todos los modelos.

Los tornillos se colocaron según los datos obtenidos del CAD a partir de las imágenes de TC empleadas.

Se decidió colocar 2 tornillos bilaterales en ilíacos por haber demostrado mayor estabilidad en casos de sacrectomía total (255).

##### b. Tornillos a soma de L5

En los Modelos 3, 4, 5 y 6 se emplearon tornillos fijados al cuerpo de L5.

En los Modelos 3 y 4 estos tornillos fueron colocados desde dos conectores unidos a las barras, entre los dos tornillos ilíacos hacia el cuerpo de L5. Se colocaron según los datos de los CAD obtenidos de las imágenes de TC.

En los Modelos 5 y 6 los tornillos fueron colocados desde la pieza sustitutiva sacra según las indicaciones del grupo clínico y según la geometría de la pieza sacra para que no interfiriera con el resto de implantes.

##### c. Pieza sustitutiva de sacro

En los Modelos 5 y 6 se utilizó una pieza sustitutiva de sacro, que está limitada superiormente por el platillo inferior de L5 y lateralmente por las alas ilíacas, colocándose según las indicaciones del grupo clínico.

##### d. Barra transilíaca

En el Modelo 6 se empleó una barra transilíaca colocada posteriormente a la pieza sustitutiva según las indicaciones del grupo clínico.

#### 3.2.2.3.2. CONDICIONES DE CONTORNO

En los Modelos 1, 2, 3 y 4 las superficies inferiores de los ilíacos bilaterales fueron fijadas respecto a todos los grados de libertad. En los Modelos 5 y 6 solo se fijó el ilíaco derecho en dirección superior-inferior.

#### 3.2.2.3.3. DEFINICIÓN DE CONTACTO

Al modelar el instrumental, no es necesario definir el contacto entre algunos elementos como p. ej. los tornillos y las barras, porque los nodos de los tornillos también pertenecen a la barra. No obstante, sí que es necesario definir los elementos contacto entre otros componentes.

En primer lugar, debido a la forma geométrica compleja de los tornillos su conexión perfecta nodo a nodo con los elementos de las vértebras no fue posible y se empleó un elemento contacto tipo "goma de pegar". Este método supone una distancia constante entre las dos superficies, de manera que el contacto sea perfecto.

En segundo lugar, se definió el contacto entre carillas articulares mediante elementos de contacto tipo toque (*touching*). Este contacto permite una cierta movilidad y participa en la fricción.

En tercer lugar, se definió el contacto entre la pieza sustitutiva de sacro, la pelvis y la columna vertebral mediante un contacto "rugoso", es decir, sin deslizamiento debido a las zonas punzantes de anclaje, este contacto no es tipo "goma de pegar" sino tipo touching (el sacro no puede penetrar en la pelvis, pero sí que teóricamente puede separarse de ella).

El área de contacto de la pieza sustitutiva con respecto a la pelvis y L5 (zonas verdes) en pelvis fue de 13000 mm<sup>2</sup> aproximadamente y en L5 de 2500 mm<sup>2</sup> aproximadamente (Ilustración 74).

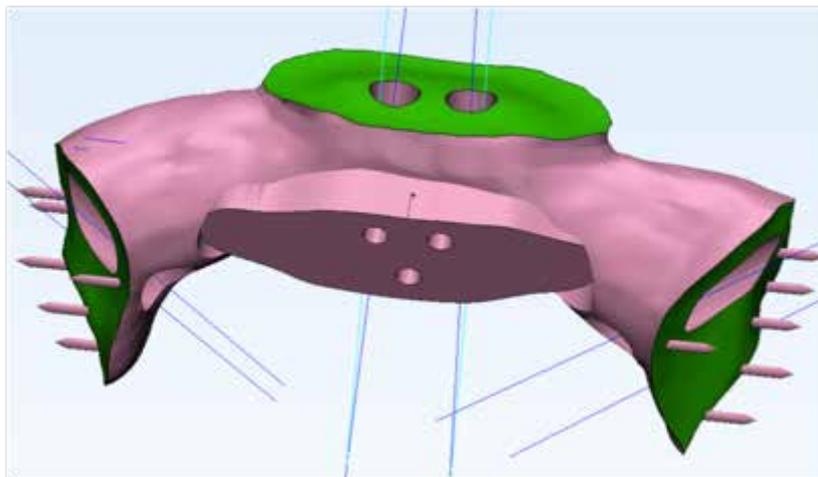


Ilustración 74. Áreas de contacto de la pieza sustitutiva del sacro

### 3.2.2.4. APLICACIÓN DE CARGAS

Los modelos según MEF fueron sometidos a cargas similares a las fisiológicas. Se seleccionaron las cargas más significativas, que son las de compresión, aplicándose una media de carga vertical de 500 N en la columna lumbar en bipedestación tal y como indica la bibliografía (269), (367), (368). La aplicación del punto de carga fue en el centro de la superficie superior del cuerpo L2 (269).

### 3.2.2.5. PARÁMETROS A ANALIZAR

Los parámetros a analizar fueron:

- El **descenso vertical** de L3, L4 y L5, que se midió como el desplazamiento vertical del platillo superior de L3, L4 y L5 respecto a la posición de la columna sin ser sometida a cargas. Se midió en mm.
- Las **tensiones (fuerzas de estrés)** que soportan los elementos más críticos del sistema (barras, tornillos, conectores y la pieza sustitutiva de sacro), expresadas en términos de tensiones de von Mises. Se midió en Nm.
- La **distribución de las tensiones** en la instrumentación y en las estructuras óseas.
- La **rigidez** de los diferentes sistemas, calculado a partir las tensiones máximas de von Mises y el desplazamiento vertical de L5. Se midió en Nm/mm.
- La **incidencia pélvica modificada (mPI, modified pelvic incidence)** del caso 4 antes de la sacrectomía total, tras la sacrectomía y los modelos de reconstrucción 2 y 4 a partir de las TC del paciente.

- La **incidencia pélvica modificada teórica** tras la colocación de la pieza de sustitución en los Modelos 5 y 6.

Siguiendo la publicación de Gottfried et al. (369) el ángulo de mPI se calculó tomando como referencia el platillo inferior de L5. Se midió mediante la intersección de la línea que va desde el centro de las cabezas femorales hasta el punto medio del platillo inferior de L5 (o-a) y una línea perpendicular al centro del platillo inferior de L5 (Ilustración 75).

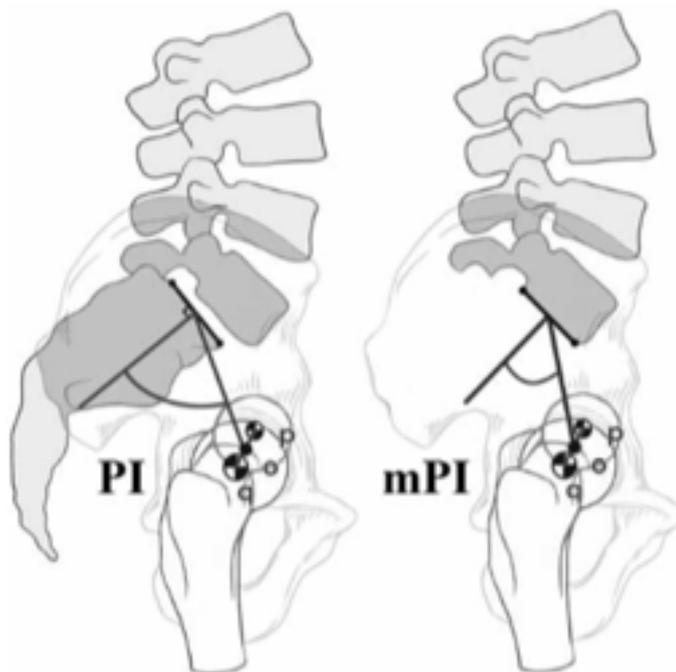


Ilustración 75. Incidencia pélvica (PI) e incidencia pélvica modificada (mPI). Tomada de Gottfried et al. (369)

### 3.2.3. ESTUDIO DE FATIGA CON UN MODELO DE POLIAMIDA

#### 3.2.3.1. PREPARACIÓN DEL MODELO DE RECONSTRUCCIÓN USANDO POLIAMIDA.

Se fabricó un modelo de poliamida de la columna lumbar y la pelvis con una máquina de sinterizado láser de poliamida, simulando una sacrectomía total, obtenida a partir de las imágenes de TC del paciente del caso 4, el mismo que el empleado en MEF (Ilustración 76).



Ilustración 76. Modelo de poliamida

### 3.2.3.2. MÉTODO DE RECONSTRUCCIÓN

En el estudio de fatiga se evaluó la técnica de reconstrucción novedosa (Modelo 5 de MEF).

En la Tabla 18 se detallan las piezas empleadas en el montaje y las Ilustraciones 77 y 78 muestran el montaje completo. Los sistemas empleados fueron Polaris™ 5.5 Spinal System (Zimmer Biomet) y Omega™ 21 Spinal Fixation System (Zimmer Biomet).

Se colocaron tornillos pediculares monoaxiales en L4 y L5 con la técnica manos libres, la pieza individualizada sustitutiva de titanio que permite un apoyo directo entre la columna vertebral y la pelvis. La pieza posee orificios orientados para alojar 2 tornillos ilíacos en cada ilíaco con trayectorias divergentes según el grupo clínico y 2 tornillos al cuerpo vertebral de L5. En la Ilustración 79 se muestran las trayectorias de los tornillos desde la pieza sustitutiva del sacro a pelvis y a cuerpo vertebral de L5.

Las dos barras verticales unen los tornillos pediculares de L4 y L5 a una placa unida a la pieza sustitutiva de sacro, con 3 tornillos centrales fijos, que unen la placa con la pieza, y 2 orificios con una cierta holgura para permitir de unión de las barras verticales fijados a los tornillos pediculares a los del soma de L5 (Ilustración 78).

En la Ilustración 80 se objetiva el montaje completo con el sistema de poliamida.

Tabla 18. Lista de instrumental empleado.

ID	Módulo de Young (GPa)	Descripción	Cantidad	Par de bloqueo aplicado
0.1	N/A	Impresión 3D pelvis derecha (poliamida PA12)	1	N/A
0.2	N/A	Impresión 3D pelvis izquierda (poliamida PA12)	1	N/A
0.3	N/A	Impresión 3D columna (poliamida PA12)	1	N/A
1	N/A	Impresión 3D de prótesis sacra (Titanio)	1	N/A
2	ID-1473-10-01-21	Placa sacra	1	N/A
3	ID-1473-10-02-50	Tornillo óseo Ø 7.5x150 mm	2	N/A
4	ID-1473-10-02-75	Tornillo óseo Ø 7.5x175 mm	4	N/A
5	ID-1473-10-03-17	Tulipa para la placa sacra	2	N/A
6	ID-1473-10-04	Tornillo de fijación para la placa sacra	3	N/A
7	ID-1473-10-05	Pin que limita la rotación	2	N/A
8	2000-1005	Tornillo de ajuste POLARIS 5.5	4	12 Nm
9	1284-10	Tornillo de ajuste Omega 21	2	10 Nm
10	2000-5180	Barra POLARIS 5.5 de 80 mm de longitud	2	N/A
11	2000-4445	Tornillo fijación Ø 6.5 x L45	4	N/A
12	N/A	Modelo de columna acrílico (poliamida)	1	N/A

PA: poliamida; N/A: no aplicable

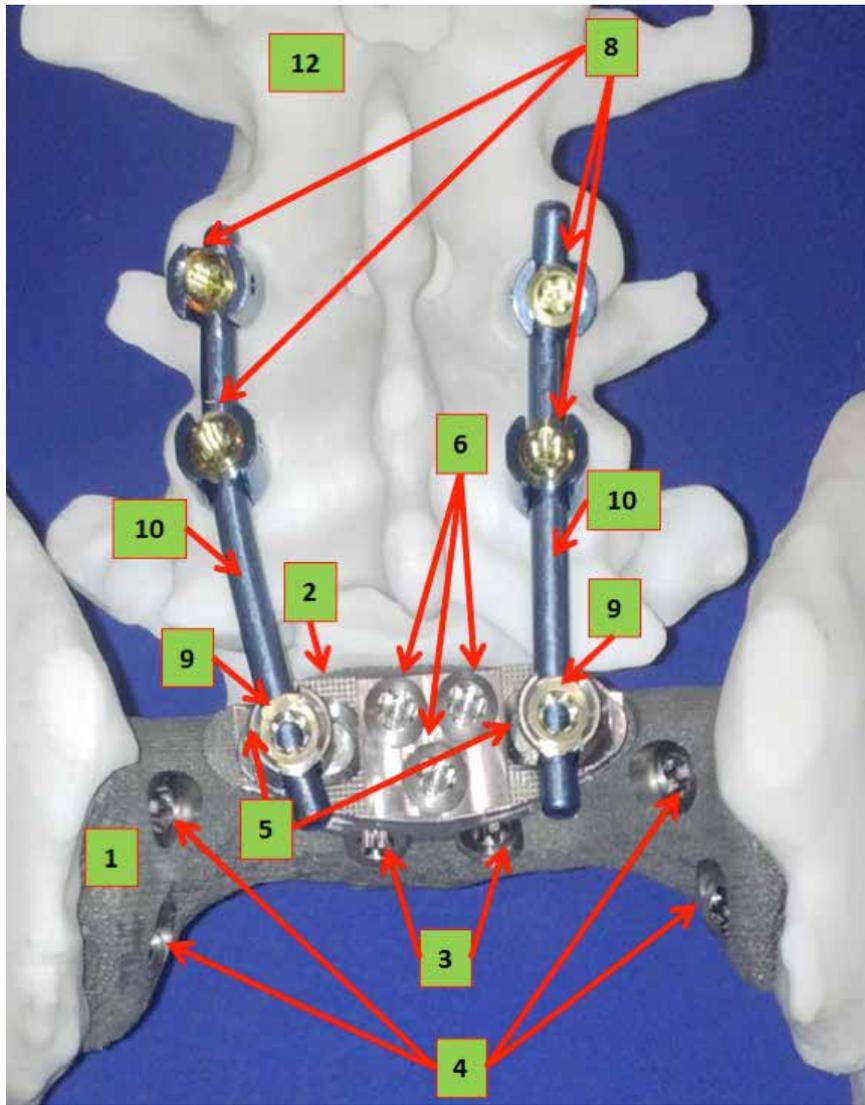


Ilustración 77. Montaje del Modelo 5, según MEF, en el modelo de poliamida. Numeración documentada en Tabla 16.

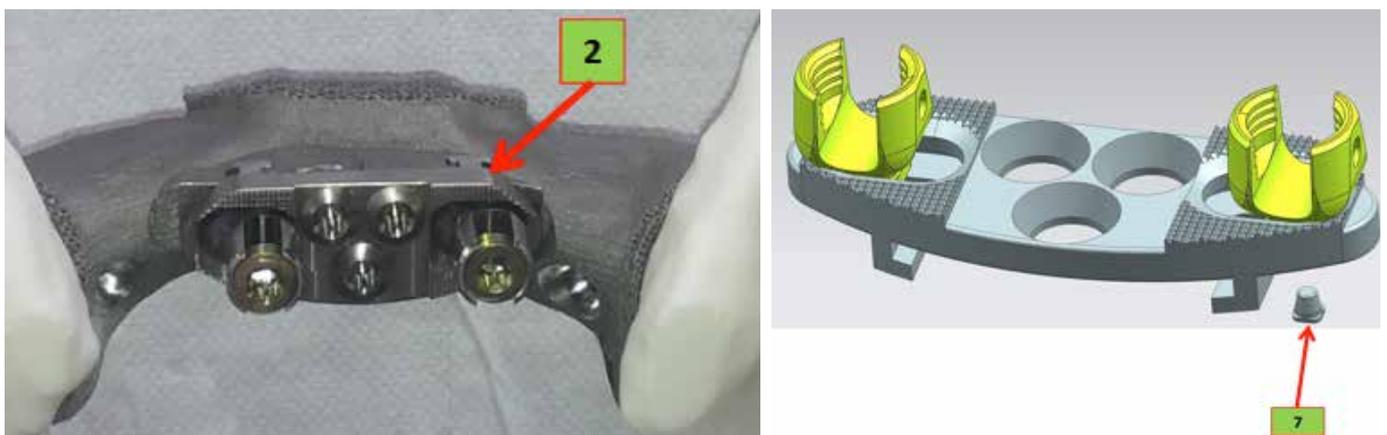


Ilustración 78. Detalle de la placa posterior

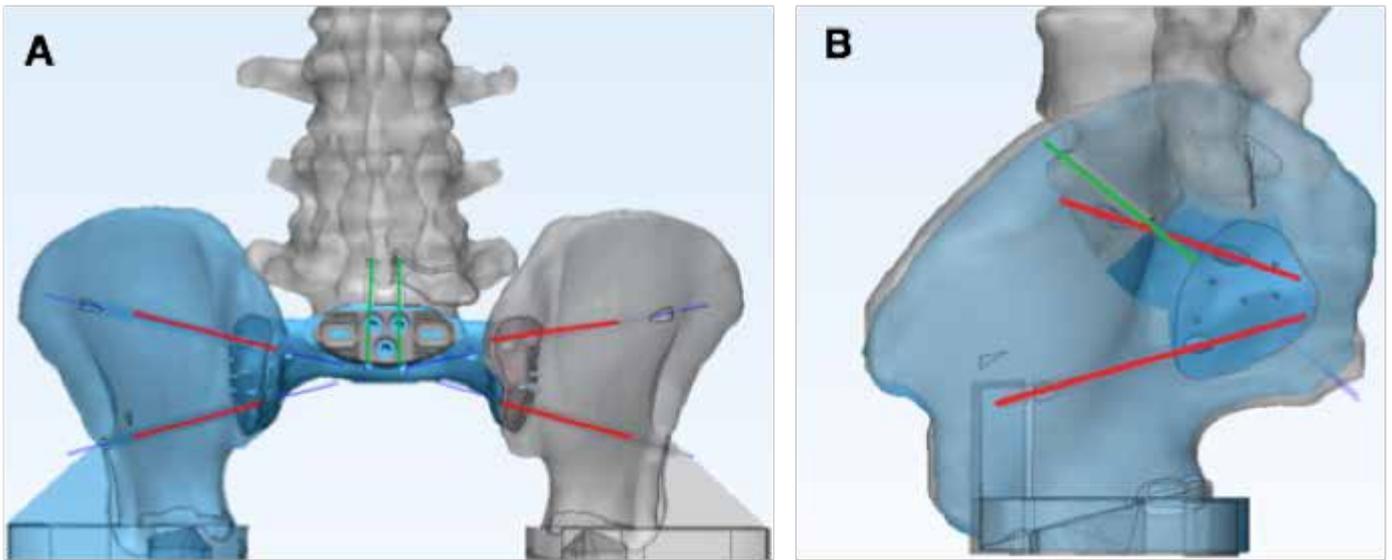


Ilustración 79. Trayectoria de los tornillos a la pelvis (en rojo) y al cuerpo vertebral de L5 (verde) en visión anterior (A) y lateral (B).

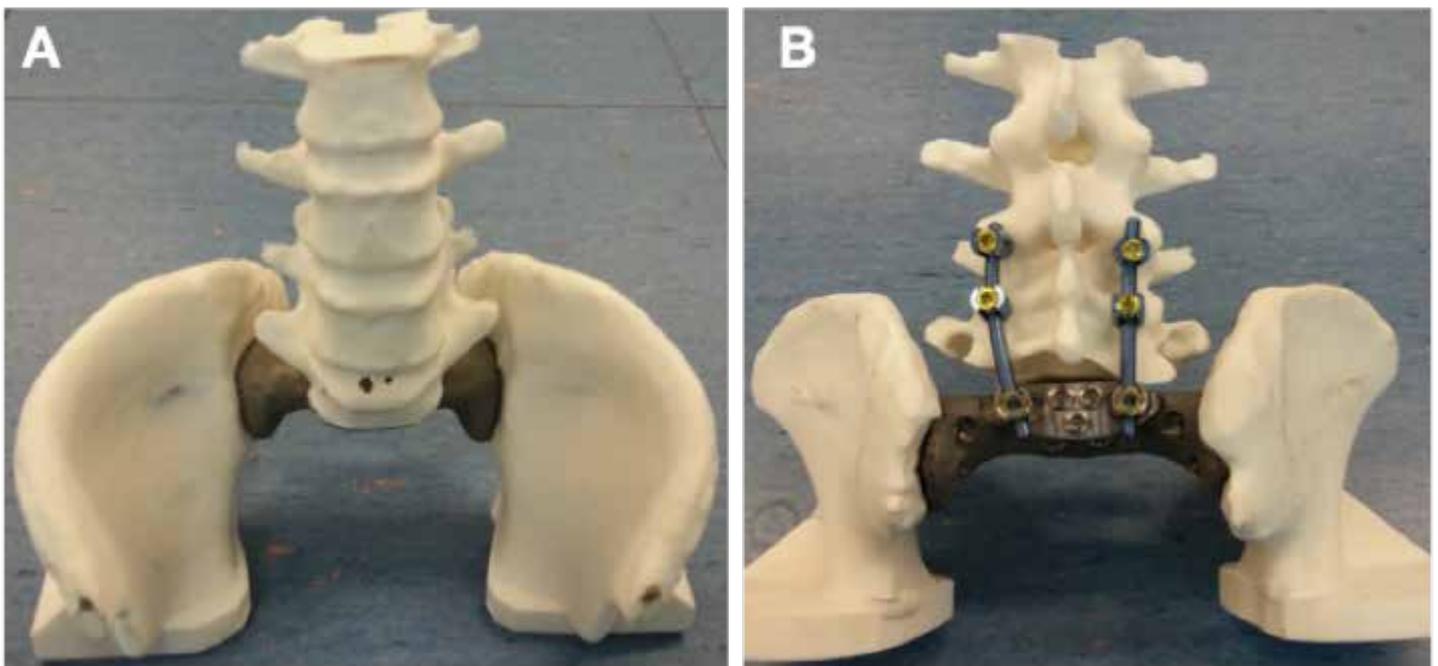


Ilustración 80. Visión anterior (A) y posterior (B) del montaje del Modelo 5 de poliamida

### 3.2.3.3. PREPARACIÓN DE LA MÁQUINA PARA APLICAR LA CARGA

El modelo de poliamida se introdujo en la Máquina de ensayos biaxial INSTRON 8870 (+/- 25 kN) y +/- 100 Nm.

Se diseñaron unos amarres para pelvis que se fijaron de forma rígida a nivel inferior de la máquina (Ilustración 81).

Basándose en estudios previos se aplicaron cargas verticales cíclicas en el centro de L2 mediante un haversine (seno rectificado) de amplitud de 450 N y 50 N de precarga, en total 500 N (269), (367), (368). de carga máxima, con una frecuencia de aplicación de la carga de 5 Hz.

Las condiciones de finalización del ensayo fueron: alcanzar 5.000.000 ciclos o al presentar la pieza un fallo.



*Ilustración 81. Montaje en la máquina del modelo de poliamida*

### **3.2.3.4. PARÁMETROS MEDIDOS**

En este estudio se valoró el fallo del instrumental.

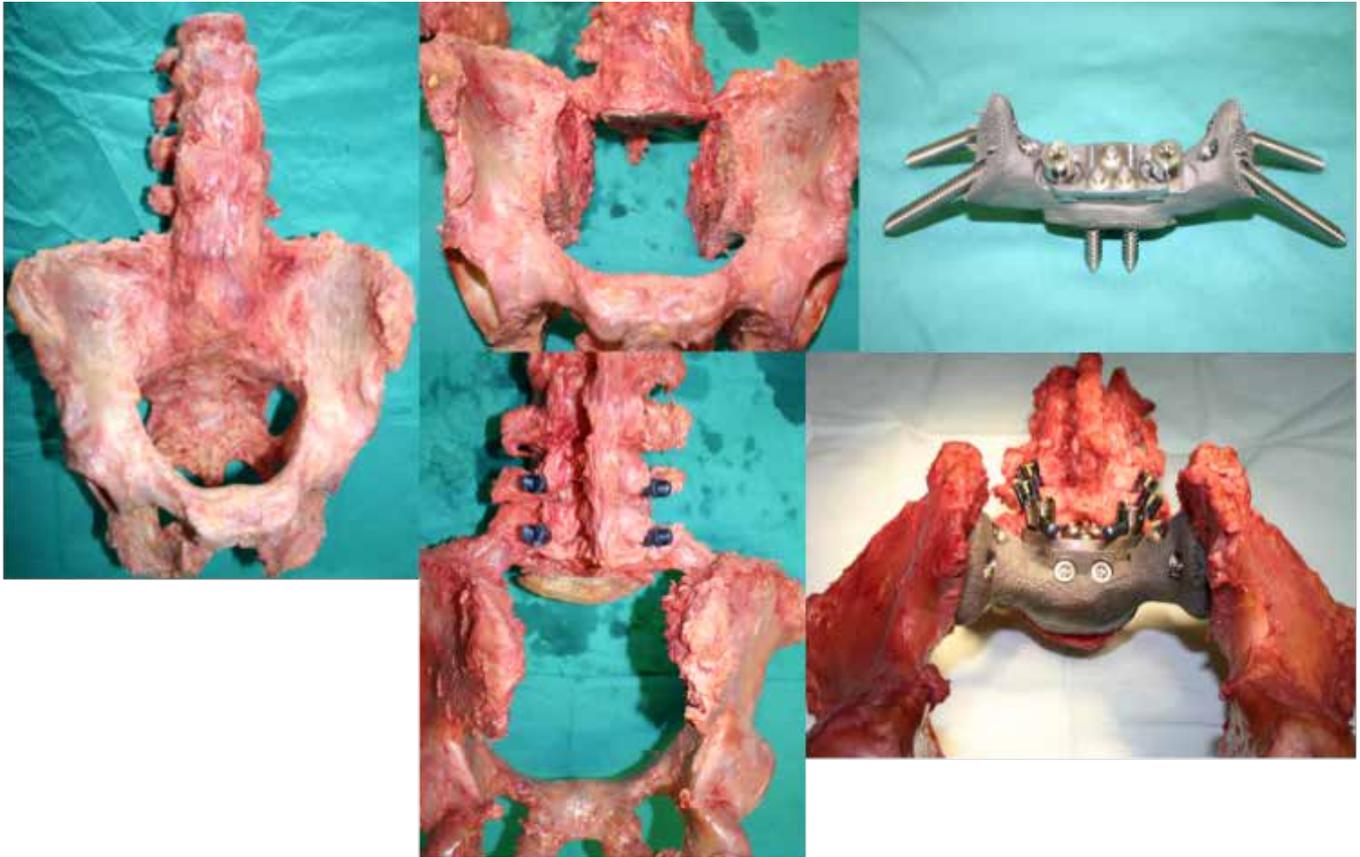
### **3.2.4. ESTUDIO DE FATIGA CON CADÁVER**

#### **3.2.4.1. CARACTERÍSTICAS Y PREPARACIÓN DEL CADÁVER**

Se empleó un espécimen cadavérico fresco (L2-pelvis), varón de 64 años de edad, de 77,8 kg y 1,82 m.

Antes del experimento el espécimen fue sometido a una radiografía lateral para excluir condiciones de osteopenia o anomalías anatómicas, fracturas, deformidades o enfermedad tumoral.

Los tejidos blandos paravertebrales fueron disecados preservando ligamentos vertebrales, discos, estructuras óseas y articulares. Posteriormente se realizó una sacrectomía y el montaje del Modelo 5, con el mismo material con el que se realizó la reconstrucción espinopélvica del estudio de fatiga (Ilustración 82). Después se realizó un estudio con TC y radiografía simple.



*Ilustración 82. Imágenes de la disección del cadáver y del montaje*

### **3.2.4.2. RECONSTRUCCIÓN DEL MODELO 5**

La reconstrucción se realizó con el mismo tipo de material, pero con diferentes implantes que los empleados en el ensayo de fatiga con el modelo de poliamida. Sí que se empleó la misma pieza sustitutiva sacra.

Los tornillos pediculares se colocaron según la técnica de Roy-Camille (370) modificada por Magerl (371), en la base de la faceta superior, en la mitad de la apófisis transversa.

La trayectoria de los tornillos ilíacos y los dirigidos al cuerpo de L5 fue marcada con la orientación dada por la pieza sustitutiva.

### **3.2.4.3. COLOCACIÓN EN MÁQUINA**

Posteriormente, el espécimen se colocó en la máquina de ensayos INSTRON 8872/287 durante 3 días con unas condiciones ambientales de temperatura de 24°C y un 61% de humedad.

El cadáver se sujetó firmemente a nivel de L1 superiormente y la pelvis caudalmente en el plano vertical para simular la bipedestación. En el platillo superior de L1 se atornilló una pieza de polietileno que disponía de un asiento semiesférico, de modo que permitiera aplicar la carga centrada a través de la columna. Cada uno de los isquiones fue embebido en cemento óseo (SR Triplex Cold), dentro de 2 cazoletas, de modo que la sínfisis púbica quedó al aire.

El modelo se ancló al actuador inferior de la máquina de ensayos sin restringir el desplazamiento lateral del mismo. Las cargas se transmitieron al modelo a través de una esfera conectada al actuador superior (Ilustración 83).



*Ilustración 83. Aplicación de carga sobre cadáver*

#### **3.2.4.4. CONDICIONES DEL ENSAYO**

Las cargas cíclicas axiales se aplicaron mediante una onda sinusoidal de 450 N de amplitud y 50 N precarga, en total 500 N de carga máxima. La frecuencia de aplicación fue de 1,5 Hz.

La condición de fin de ensayo, fue alcanzar los 250.000 ciclos o cuando se detecte fracaso del modelo.

#### **3.2.4.5. PARÁMETROS A MEDIR**

Con una radiografía simple y TC posoperatorio se valoró el fallo de implantes en forma de posicionamiento, rotura de los implantes y áreas de radiolucencia por parte de 2 especialistas en Radiología.



# RESULTADOS



## 4. RESULTADOS

### 4.1. ESTUDIO CLÍNICO

#### 4.1.1. DATOS DEMOGRÁFICOS DE LA MUESTRA

La muestra constaba de 18 pacientes (50% hombres y 50% mujeres). Presentaban una mediana de 52 años (RIC 41,3-59,7).

La mediana del tiempo de seguimiento fue de 55 meses (RIC 40,42-144,6).

#### 4.1.2. HISTOTIPO Y ESTADIAJE DEL TUMOR

Los tumores primarios fueron: 88,9% cordoma, 5,6% ependimoma y 5,6% leiomiomasarcoma.

El 100% de los casos se presentaron en un estadio de Enneking tipo IB.

#### 4.1.3. ESTUDIO PREOPERATORIO DEL TUMOR

##### 4.1.3.1. PRUEBAS DE IMAGEN

Las pruebas de imagen empleadas se detallan en la Tabla 19.

Tabla 19. Pruebas de imagen

Pruebas de imagen	N (%)
Radiografía simple	17 (94,4)
RM localizada	17 (94,4)
RM columna completa	18 (100)
TC localizada	18 (100)
TC de extensión	18 (100)
Gammagrafía ósea	5 (27,8)
PET TC	2 (11,1)
Angiografía	1(5,6)
AngioTC	6(33,3)
AngioRM	1(5,6)

##### 4.1.3.2. DIÁMETRO MAYOR DEL TUMOR MEDIDO EN RM

La mediana del diámetro mayor del tumor fue de 10 cm (RIC 7-18,75).

##### 4.1.3.3. BIOPSIA PREOPERATORIA

En el 94,4% (16 casos) se empleó la biopsia como método diagnóstico, en 15 casos 1 biopsia y en 1 caso 2 biopsias (Caso 11). En 2 casos no se realizó (Casos 7 y 14).

En el 52,9% la biopsia se realizó en el mismo centro donde se intervino. De las 8 biopsias que se realizaron fuera todas fueron del histotipo cordoma. De estas en 2 casos se repitió la biopsia en el mismo centro donde se intervino finalmente por duda diagnóstica.

En el 87,5% se realizó una biopsia con trocar, en el 12,5% incisional abierta y en 6,25% mediante PAAF.

En el 93,75% la biopsia preoperatoria concordó con el diagnóstico posoperatorio.

#### 4.1.4. TOPOGRAFÍA DEL TUMOR SEGÚN PRUEBAS DE IMAGEN

##### 4.1.4.1. AFECTACIÓN ÓSEA

La Tabla 20, muestra la afectación ósea del tumor y la Tabla 21 los patrones de distribución ósea del tumor objetivando que la más frecuente fue la afectación S2-S5 bilateral.

Tabla 20. Distribución detallada del tumor a nivel óseo

	Derecha (n)	Izquierda (n)
L5	1	1
A. Sacroilíaca	2	4
S1	7	7
S2	13	15
S3	17	17
S4	17	17
S5	17	17
Cóccix	4	0

Tabla 21. Patrones de distribución ósea del tumor

Áreas afectadas	n
Articulación sacroilíaca, L5-S5 y cóccix	1
Articulación sacroilíaca unilateral y S1-S5	3
Articulación sacroilíaca bilateral, S2-S5	1
S1 y S2 bilateral	1
S1-S5 bilateral	1
S2-S5 bilateral	7
S2 unilateral-S5 bilateral	2
S3-S5 bilateral	2

##### 4.1.4.2. AFECTACIÓN DE TEJIDOS BLANDOS

En cuanto a la afectación de tejidos blandos se objetivó una afectación mayoritaria del canal vertebral y de los músculos piriformes, ver Tabla 22.

Tabla 22. Afectación de los tejidos blandos

Tejidos blandos	n (%)
Piel	0 (0)
M. erector de la columna	0 (0)
M. piriformes	12 (66,7)
M. glúteos	2 (11,1)
M. elevador del ano	1 (5,6)
Canal vertebral	15 (83,3)
Ligamento sacrotuberoso	6 (33,3)
Ligamento sacroespinoso	5 (27,4)
Disco L5-S1	2 (11,1)
Escotadura ciática	2 (11,1)
Nervio ciático	1 (5,6)
Recto	2 (11,1)

#### 4.1.4.3. TAMAÑO DEL TUMOR

La mediana del diámetro mayor del tumor medido en RM fue de 10 cm (RIC 8,4-10,8).

#### 4.1.4.4. ESTADO PREOPERATORIO DEL PACIENTE

La mayoría de pacientes presentaron un índice de Comorbilidad de Charlson entre 0-2, un índice de Karnofsky entre 80-100 y un índice ASA entre 1-2 (Tabla 23).

Tabla 23. Índice de Comorbilidad de Charlson, índice de Karnofsky y clasificación ASA

Índices	n (%)
Índice de comorbilidad de Charlson	
0-2	13 (72,2)
3-6	5 (27,8)
Índice de Karnofsky	
0-70	5 (27,8)
80-100	13 (72,2)
Índice ASA	
1-2	16 (88,9)
3-5	2 (11,1)

#### 4.1.5. TRATAMIENTO PREOPERATORIO DEL TUMOR

Ningún paciente fue sometido a una embolización preoperatoria.

En ningún caso se trataron con quimioterapia neoadyuvante sola, en 1 caso radioterapia preoperatoria sola y en 1 caso radioterapia y quimioterapia.

En 3 casos (16,7%) los pacientes, todos cordomas, habían sido sometidos a cirugía previamente, todos procedimientos con márgenes intralesionales. Ver Tabla 24.

Tabla 24. Casos sometidos a cirugía previa

Caso	Tiempo desde la cirugía previa (meses)	Descripción de cirugía previa	Márgenes
1	35	Resección intralesional S2 y S3 (doble vía)	Intralesional
10	5	Laminectomía S1 derecha y aspiración del tumor	Intralesional
14	110	Resección en bloque S2-S3	Intralesional

## 4.1.6. CIRUGÍA

### 4.1.6.1. NÚMERO DE TIEMPOS Y DURACIÓN DE LA CIRUGÍA

En el 66,7% (12 casos) la cirugía se realizó en 2 tiempos. En el 33,3 % (6 casos) en 1 solo.

La mediana de la duración de la cirugía fue de 1200 minutos (RIC 930-1425). La vía anterior presentó una mediana de 600 minutos (RIC 525-680) y la vía posterior de 775 minutos (RIC 600-840).

### 4.1.6.2. VÍA DE ABORDAJE E INCISIONES

El 66,7% se sometió a una vía anterior-posterior secuencial y el 33,3% vía posterior sola.

En cuanto a la incisión realizada, en el 100% de los que se sometieron a una vía anterior se empleó una incisión de Pfannenstiel amplificada. En la vía posterior, en un 88,2% la incisión de estrella de Mercedes-Benz, en un 5,1% una incisión en C y en un 5,1% una incisión longitudinal central.

En la Tabla 25 se objetiva que la mayoría de vías posteriores solas se emplearon en límites de osteotomía superior en S1-S2.

Tabla 25. Límite superior de osteotomía según vía de abordaje

Límite superior de osteotomía	Vía de abordaje	
	Anterior-posterior secuencial	Posterior solo
L4-L5	1	0
L5-S1	4	1
S1-S2	3	4
Cuerpo S2	1	0
S2-S3	3	1

En el 27,77% se realizó la resección de la articulación sacroilíaca.

### 4.1.6.3. CLASIFICACIÓN QUIRÚRGICA DE LAS RESECCIONES SACRAS

En la Tabla 26 se objetiva que en la mayoría de los casos la sacrectomía fue alta según la clasificación de Fourney et al. (82), un tipo II según la de Li et al. (199) y un tipo Ib según la de Zhang et al. (202).

Tabla 26. Tipo de resecciones según las clasificaciones quirúrgicas sacras

TIPO DE RESECCIÓN SACRA		
Fourney (82) n (%)	Li (199) n (%)	Zhang (202) n (%)
Baja 2 (11,1)	I 4 (22,2)	Ia 6 (33,3)
Media 5 (27,8)	II 8 (44,4)	Ib 8 (44,4)
Alta 7 (38,9)	III 4 (22,2)	IIa 1 (5,6)
Total 3 (16,7)	IV 1 (5,6)	IIb 3 (16,7)
HC* 1 (5,6)	V 1 (5,6)	

\*HC: hemiscoprectomía

### 4.1.6.4. NIVELES DE RESECCIÓN ÓSEA

En la Tabla 27 se muestran los límites de resección ósea, siendo el más frecuente S1-S2 (38,9%).

Tabla 27. Límite superior de las osteotomías sacras

Nivel de osteotomía	n (%)
Por debajo de L4	1 (5,6)
L5-S1	5 (27,8)
S1-S2	7 (38,9)
Cuerpo S2	1 (5,6)
S2-S3	4 (22,2)

### 4.1.6.5. RESECCIÓN TEJIDOS BLANDOS

En la Tabla 28 se muestra que la zona de biopsia y de la piel fueron los tejidos blandos más reseçados.

Tabla 28. Tejidos blandos reseçados

Tejidos blandos reseçados	n (%)
Zona de biopsia	16 (88,9)
Piel	17 (94,4)
Recto	2 (11,1)
Músculo erector de la columna	0 (0)
Músculo piriforme	13 (72,2)
Músculos glúteos	3 (16,7)
Ligamento sacrotuberoso	13 (72,2)
Ligamento sacroespinoso	14 (77,8)

#### 4.1.6.6. AMPUTACIÓN DE RAÍCES LUMBARES Y SACRAS

Tabla 29. Raíces amputadas

Raíces amputadas	n (%)
Ninguna	1 (5,6)
L4 y L5 izquierda, S1- S5 bilateral	1 (5,6)
S1-S5 bilateral	3 (16,7)
S2 izquierda, S3-S5 bilateral	2 (11,1)
S2-S5 bilateral	5 (27,8)
S3-S5 bilateral	5 (27,8)
S4-S5 bilateral	1 (5,6)

En ningún caso se produjo una amputación accidental de las raíces  
En 3 casos (17,6%) se produjo una lesión de la duramadre, que fue reparada.

#### 4.1.7. CIERRE

En todos los pacientes se realizó un cierre primario de la herida quirúrgica. En 5 casos (27,8%) el cirujano plástico realizó el cierre con colgajo de deslizamiento de glúteos en 2 casos y en 3 casos un cierre directo.

En todos los casos se colocaron 2 drenajes tipo redón al cierre.

En 4 casos (22,2%) se empleó un sistema VAC superficial al cierre.

En ningún caso se empleó antibiótico local en el momento del cierre.

En ningún caso se empleó el colgajo VRAM transpélvico.

En 6 casos se empleó un colgajo de omento.

#### 4.1.8. COLOSTOMÍA

##### 4.1.8.1. TIPO DE COLOSTOMÍA

En el 66,7% se realizó una colostomía, el 85,7% temporal y 14,2% definitiva. La temporal fue revertida antes del año en todos los casos.

Los motivos para realizar una colostomía permanente fueron:

En el caso 13 por una neoplasia de recto concomitante al tumor sacro.

En el caso 16 por extensión del tumor a la pared del recto.

##### 4.1.8.2. RELACIÓN DE LA COLOSTOMÍA CON OTROS FACTORES

Excluyendo los 2 pacientes con colostomía permanente se analizaron los factores que se relacionaban con la realización de la colostomía sin hallar relación ni con el límite superior de las raíces salvadas, ni con el límite superior de la osteotomía y ni con el tipo de clasificación de resección sacra (Tabla 30).

Tabla 30. Relación entre la realización de la colostomía temporal y el nivel de las raíces salvadas, el límite superior de la osteotomía y las clasificaciones quirúrgicas sacras

Factores	P
Límite superior de raíces salvadas	
S1	0,724
S2	0,231
S3	0,476
Límite de osteotomía	
L5-S1	0,850
Por encima de S2	0,678
Por encima de S3	0,733
Clasificación	
Fourney et al. (82)	0,661
Li et al. (199)	0,934
Zhang et al. (202)	0,489

#### 4.1.9. DURACIÓN DE LA CIRUGÍA

La mediana de duración total de la cirugía fue de 1200 min (RIC 900-1450). La mediana de la vía anterior-posterior secuencial fue de 1320 min (RIC 1140-1500) y la de la vía posterior solo de 840 min (RIC 682,5-1020) ( $p = 0,001$ ).

#### 4.1.10. RECONSTRUCCIÓN INSTRUMENTADA DE UNIÓN LUMBOPÉLVICA

En un 33,33% (6 casos) se realizó una reconstrucción instrumentada de la unión espinopélvica (Tabla 31). En todos los casos se realizó en el mismo tiempo que la sacrectomía. De los 6 casos en 3 se presentó un fallo de reconstrucción. De ellos se reintervinieron 2, pues uno de ellos rechazó cirugía (Tabla 32 y 33).

En el caso 8 se retiró el material no por fallo mecánico sino por recomendación de Medicina Interna por infección de herida profunda.

Tabla 31. Descripción de los pacientes sometidos a reconstrucción espinopélvica

Caso	Límite superior osteotomía	Resección articulación sacroilíaca	Nivel superior de raíces amputadas	Fourney et al. (82)	Li et al. (199)	Zhang et al. (202)
4	L5-S1	Sí	L4	Total	Tipo I	Ib123
8	S1-S2	No	S2	Alta	Tipo II	Ib13
10	L5-S1	Sí	0	?	?	Ia1
11	L1-S1	Sí	S1	Total	Tipo I	Ia12
12	Debajo de L4	Sí	S1	HC*	Tipo V	Ia123
14	L5-S1	No	S2	Alta	Tipo I	Ib13

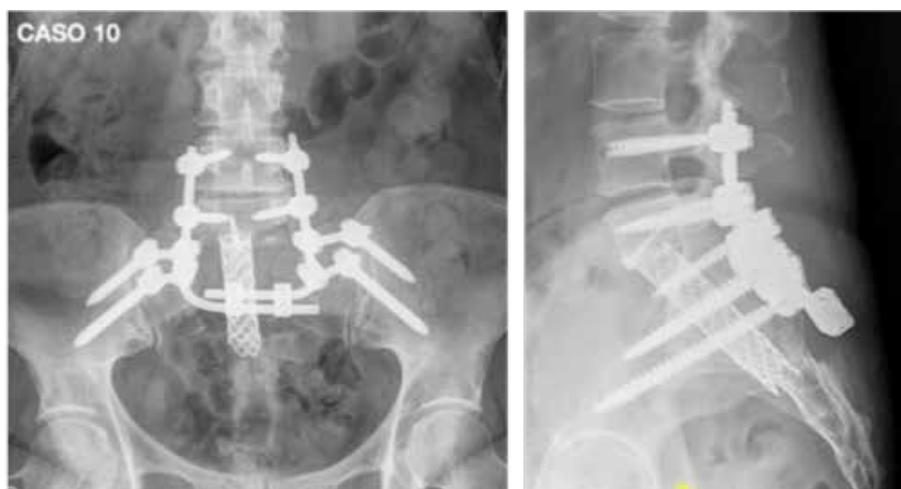
\*HC: hemicorporectomía

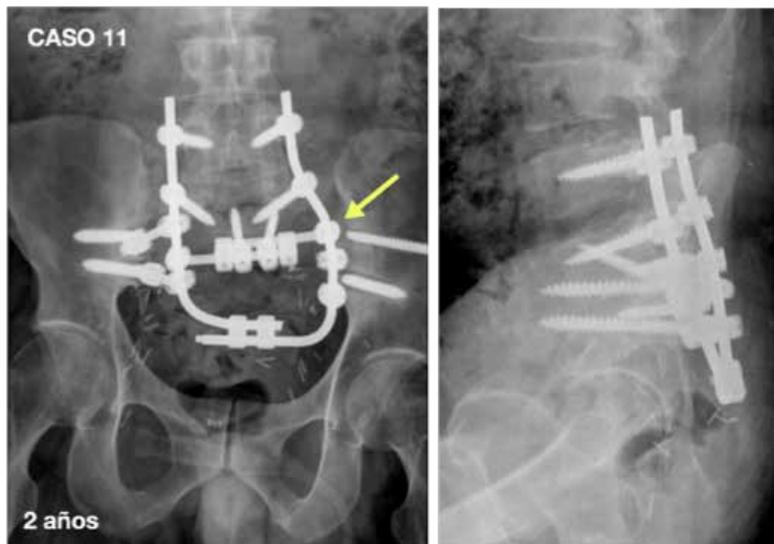
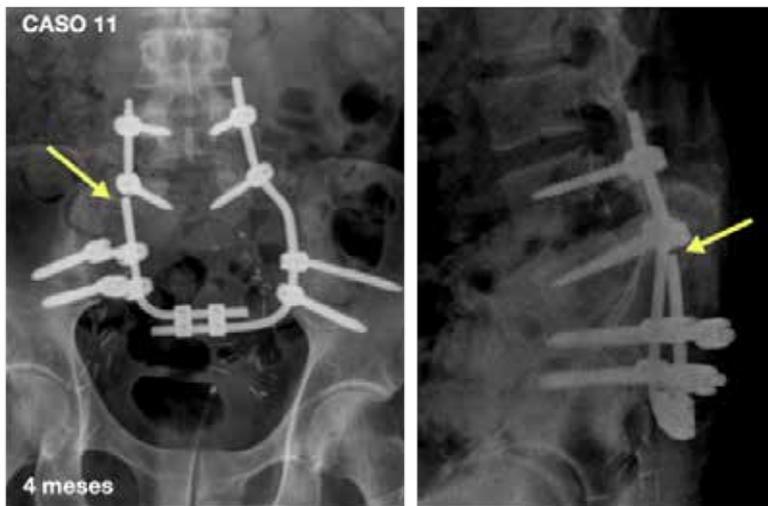
Tabla 32. Descripción de la reconstrucción espinopélvica realizada en cada caso

Caso	Reconstrucción espinopélvica
4	Tornillos pediculares en L4 y L5 + 2 iliacos bilaterales+2 barras en L unidas inferiormente por 2 conectores
8	Tornillos iliacos (1 por lado) unidos por una barra a nivel de osteotomías
10	Tornillos L4 y L5 bilateral + 2 tornillos ilíacos bilaterales (2 por lado) + Malla Moss llena de cemento entre platillo inferior de L5 y superior de L3
11	Tornillos pediculares en L4 y L5 + 2 iliacos bilaterales+2 barras en L unidas inferiormente por 2 conectores
12	Tornillos pediculares L3 y L4 e ilíacos (2 iliacos por lado) + 2 cilindros de Moss L4 a iliacos + 1 barra iliaco-iliaco + 2 barras laterales + 1 conector transversal a ambas barras laterales + injerto de húmero estructural de cadáver entre ilíacos
14	Tornillos pediculares L4 y L5 + 2 iliacos por cresta + 2 barras en L unidas por un conector con doble cañón

Tabla 33. Descripción del fallo de reconstrucción espinopélvica y su resolución

Caso	Tiempo de fallo tras la cirugía	Descripción del fallo tras la 1ª cirugía de reconstrucción	Descripción de la reconstrucción
4	5 meses	Rotura de barras por debajo de L5 en su unión con los tornillos ilíacos y rotura de los mismos	Cambio de barras y colocación de tornillos a soma de L5 unidos a un conector entre las dos barras
11	4 meses	Rotura de barras por debajo de L5 en su unión con los tornillos ilíacos y rotura de los mismos	Cambio de barras y colocación de tornillos a soma de L5 unidos a un conector entre las dos barras
	2 años	Aflojamiento y rotura de tornillos ilíacos	Cambio de barra y fijación tornillos a soma de L5 y conector transverso
	3 años + 3 meses	Aflojamiento de tornillos ilíacos	Cambio de tornillos ilíacos
12	3 meses	Desmontaje del sistema de reconstrucción instrumental	Rechazó cirugía





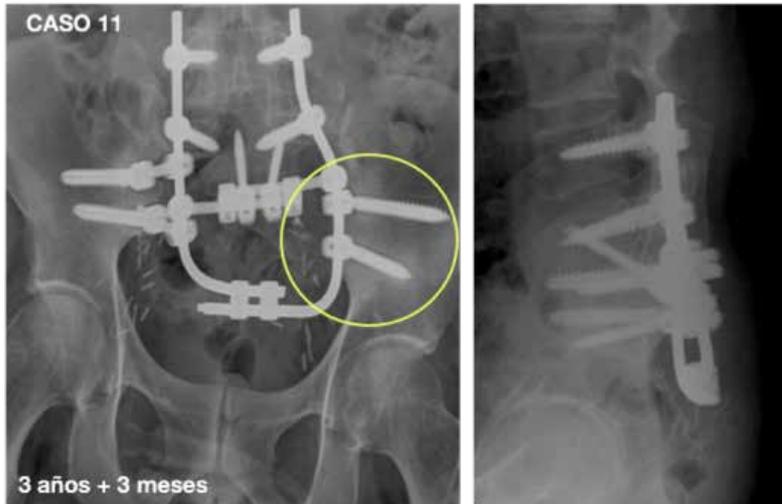


Ilustración 84. Imágenes de las reconstrucciones de los casos 8, 10, 11 y 12

#### 4.1.11. TRATAMIENTO ADYUVANTE

Tras la cirugía 3 pacientes fueron sometidos a radioterapia y 2 quimioterapia.

#### 4.1.12. COMPLICACIONES INTRAOPERATORIAS

La complicación intraoperatoria más frecuente fue la lesión de la duramadre (ver tabla 34).

Tabla 34. Complicaciones intraoperatorias

Complicaciones	n (%)
Lesión vascular	1 (5,6)
Lesión visceral	0 (0)
Lesión duramadre	3 (16,7)
Amputación accidental de raíces	0 (0)

En el caso 13 se produjo una lesión de la arteria pudenda que fue reparada sin complicaciones posteriores.

#### 4.1.13. RESULTADOS QUIRÚRGICOS POSOPERATORIOS

##### 4.1.13.1. COMPLICACIONES POSOPERATORIAS

Durante el seguimiento todos los pacientes presentaron alguna complicación.

##### 4.1.13.1.1. PERIOPERATORIAS (EN EL PRIMER MES POSOPERATORIO)

##### 4.1.13.1.1.1. DATOS DESCRIPTIVOS

En el 88,9% de los pacientes presentó alguna complicación en el primer mes posoperatorio. Se muestran en la Tabla 35.

Tabla 35. Complicaciones durante el primer mes posoperatorio

Tipo de complicaciones	n
<b>Menores</b>	
Infección de orina	10
Depresión	12
Ansiedad	4
Dermatitis irritativa	3
Reacción alérgica a fármacos	2
Crisis hipertensiva	2
Parálisis facial periférica	1
Úlcera por presión en trocánter	1
Fístula recto-cutánea	1
Flebitis	5
<b>Mayores</b>	
Síndrome confusional agudo	2
Dehiscencia de herida quirúrgica	13
Infección profunda de herida quirúrgica	11
Infección superficial de herida quirúrgica	10
Fistula de líquido cefalorraquídeo	1

#### 4.1.13.1.1.2. REINTERVENCIONES

Se produjeron 34 reintervenciones, el 97% debidas a complicaciones de la herida quirúrgica.

El 61% presentó como mínimo una cirugía en el primer mes posoperatorio: 11 pacientes por problemas de herida quirúrgica y 1 por fístula de líquido cefalorraquídeo. Esta fue reparada con sutura y estancia en cama 7 días con el cabecero elevado a aproximadamente 15°-30°.

#### 4.1.13.1.2. DE LOS 30 DÍAS A LOS 6 MESES POSOPERATORIOS

##### 4.1.13.1.2.1. DATOS DESCRIPTIVOS

El 61,11% de los pacientes presentó alguna complicación entre el primer y el sexto mes posoperatorio. Se muestran en la Tabla 36.

Tabla 36. Complicaciones entre el primer y el sexto mes posoperatorio

Tipo de complicaciones	n
<b>Menores</b>	
Infección de orina	16
Depresión	12
Arritmia	2
Necrosis bordes herida	2
Seroma	2
Hematuria	1
Fracaso renal agudo	1
Fractura sacra por radioterapia posoperatoria	1
Flebitis	4
<b>Mayores</b>	
Infección profunda de herida quirúrgica	4
Dehiscencia de herida quirúrgica	2
Shock séptico de foco urinario	2
Fallo de colgajo	1
Fallo de instrumentación espino pélvica	1

#### 4.1.13.1.2.2. REINTERVENCIONES

Se produjeron 18 reintervenciones, el 94,44% debidas a complicaciones de la herida quirúrgica.

El 33,3% presentó como mínimo una cirugía entre el primer y el sexto mes posoperatorio: 4 por infecciones de herida profunda precisando de lavados quirúrgicos, 1 por una colección sacra, colocando un catéter de drenaje y 1 por fallo del instrumental.

#### 4.1.13.1.3. DE LOS 6 PRIMEROS MESES AL AÑO POSOPERATORIOS

##### 4.1.13.1.3.1. DATOS DESCRIPTIVOS

El 38,9% de los pacientes presentó complicaciones entre los 6 primeros meses y el año posoperatorio. Se muestran en la Tabla 37.

Tabla 37. Complicaciones entre el sexto mes y el año posoperatorio

Tipo de complicaciones	n
<b>Menores</b>	
Infección de orina	14
Depresión	8
<b>Mayores</b>	
Infección profunda de herida quirúrgica	1
Fallo de instrumentación espino pélvica	2

#### 4.1.13.1.3.2. REINTERVENCIONES

Se produjeron 3 reintervenciones, 2 debidas a complicaciones de la herida quirúrgica.

El 10,5% presentó como mínimo una cirugía entre el sexto mes y el año posoperatorio: 1 por infección de herida quirúrgica y 1 por fallo de instrumentación espino pélvica.

#### 4.1.13.1.4. DEL PRIMER AL SEGUNDO AÑO POSOPERATORIO

##### 4.1.13.1.4.1. DATOS DESCRIPTIVOS

El 23,5% de pacientes presentaron complicaciones entre el primer y el segundo año posoperatorios. Se muestran en la Tabla 38.

Tabla 38. Complicaciones durante el primer y el segundo año posoperatorio

Tipo de complicaciones	n
<b>Menores</b>	
Infección de orina	10
Depresión	3
Necrosis bordes herida	2
Úlcera cresta ilíaca por apoyo tornillo	1
<b>Mayores</b>	
Fallo de instrumentación espino pélvica	2

##### 4.1.13.1.4.2. REINTERVENCIONES

Se realizó 1 cirugía por fallo de instrumentación espino pélvica. El otro paciente que sufrió fallo de la instrumentación no quiso someterse a una reparación quirúrgica.

## 4.1.13.2. PÉRDIDA DE SANGRE

La mediana de pérdida de sangre intraoperatoria estimada fue 2900 cc (RIC 2400-3400).

La mediana de hemoglobina preoperatoria fue 13 g/dl (RIC 12-13,5) y la posoperatoria de 7 g/dl (RIC 6-7). La mediana de hematocrito preoperatorio 42 l/l (RIC 40,50-44) y posoperatorio 20 l/l (RIC 18-23,50).

La mediana del número de concentrados de hematíes transfundidos fue de 4 (RIC 3-5).

La mediana de disminución de hemoglobina fue de 6 g/dl (RIC 5-7) y de hematocrito de 24 l/l (RIC 14-26).

En el análisis univariante los factores asociados con un mayor sangrado intraoperatorio fueron abordaje posterior y el tiempo quirúrgico  $\geq$  1200 min (Tabla 39).

Tabla 39. Análisis univariante de los factores que influyen en el sangrado intraoperatorio excesivo ( $\geq 2900$  cc)

Factores	Sangrado $\geq 2900$ cc (p)
Edad (< 52/ $\geq 52$ años)	0,829
Í. ASA (1-2/3-5)	0,052
Í. Karnofsky (0-70/80-100)	0,703
Í. Comorbilidad de Charlson (0-2/3-6)	0,590
Diámetro mayor del tumor $\geq 10$ cm en RM	0,315
Límite osteotomía transversal < S2/ $\geq$ S2	0,101
Abordaje (posterior/anterior-posterior)	0,041
Reconstrucción espinopélvica	0,553
Tiempo quirúrgico (min) (< 1200 / $\geq$ 1200)	0,016
Número de complicaciones mayores	0,249

La mediana de pérdida de sangre en pacientes con abordaje anterior-posterior secuencial fue de 2100 cc (RIC 1225-3050) y en el abordaje solo posterior de 3100 cc (RIC 2800-3600).

La mediana de pérdida de sangre en pacientes en los que la duración de la cirugía fue menor a 1200 min fue de 2650 cc (RIC 1300-2900) y la de los que la duración de la cirugía fue  $\geq 1200$  min fue de 3290 cc (RIC 1600-4300).

#### 4.1.13.3. ESTANCIA HOSPITALARIA Y EN UCI O SEMICRÍTICOS

La mediana de estancia en Semicríticos o UCI fue de 5 días (RIC 3,50-6,25) y la de estancia hospitalaria fue de 40 días (RIC: 18,5-62,5).

No se pudo medir el tiempo de ingreso en otros centros tras darse de alta del nuestro.

Los factores que se relacionaron con una mayor estancia hospitalaria fueron el número de complicaciones en el primer mes de la cirugía y el sangrado  $\geq 2900$  cc (Tabla 40).

Tabla 40. Análisis univariante de factores que influyeron en el tiempo de estancia en Semicríticos/UCI y estancia hospitalaria total

Factores	TIEMPO ESTANCIA	
	Semicríticos/UCI (p)	Hospitalaria (p)
Edad (< 52/ $\geq 52$ años)	0,360	0,673
Í. ASA (1-2/3-5)	0,118	0,176
Í. Karnofsky (0-70/80-100)	0,566	0,383
Í. Comorbilidad Charlson (0-2/3-6)	0,309	0,283
Sacrectomía total y alta	0,788	0,130
Reconstrucción	0,291	0,149
Número complicaciones mayores en el 1º mes	0,149	0,043
Sangrado (< 2900/ $\geq 2900$ cc)	0,360	0,021

La mediana de estancia hospitalaria en pacientes con un sangrado intraoperatorio < 2900 cc fue de 20 días (RIC 3-39,500) y en aquellos con un sangrado  $\geq 2900$  cc de 45,5 días (RIC 40,25-88,5).

## 4.1.14. RESULTADOS DE LA CIRUGÍA SOBRE EL DOLOR

### 4.1.14.1. ESCALA EVA

#### 4.1.14.1.1. DATOS DESCRIPTIVOS

Tabla 41. Valores de la escala EVA durante el preoperatorio y el seguimiento

	Preop.	1 mes	6 meses	1 año	2 años
EVA mediana (RIC)	7 (5,5-8)	4 (3-5,25)	4 (4-6)	4 (3-4)	3 (2-4)

Preop. preoperatorio

#### 4.1.14.1.2. EVOLUCIÓN DE VALORES DE LA ESCALA EVA DURANTE EL SEGUIMIENTO

Se objetivó un descenso estadísticamente significativo del EVA al mes de la cirugía sin producirse modificaciones significativas posteriormente (Ilustración 85 y Tabla 42).

Se produjeron diferencias significativas entre la mediana del EVA preoperatorio y el EVA al año tras la cirugía, presentando una mediana de disminución del EVA 4 (RIC 2-5,25).

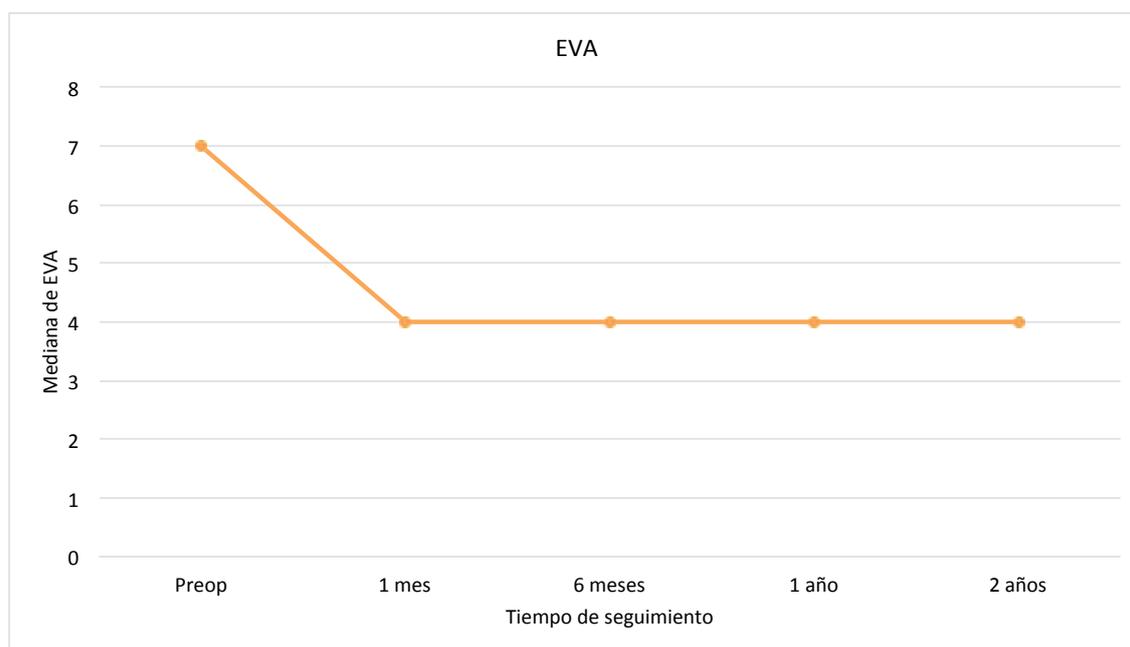


Ilustración 85. Evolución de los valores de EVA

Tabla 42. Comparación de las medianas de los valores de EVA durante la evolución

	EVA				
	1 mes - preop	6 meses - 1 mes	1 año - 6 meses	2 años - 1 año	1 año - preop
p	0,002	0,721	0,190	0,069	0,001

Preop. preoperatorio

#### 4.1.14.1.3. RELACIÓN DEL EVA CON NIVEL DE SACRECTOMÍA Y RECONSTRUCCIÓN

A los 6 meses posoperatorios el EVA los pacientes en los que se realizó una reconstrucción instrumentada de la estabilidad espinopélica la mediana del EVA fue de 6 (RIC 5-6) y en los que no fue realizada fue de 4 (RIC 4-4) ( $p = 0,023$ ) (Tabla 43).

Tabla 43. Relación de los valores del EVA y nivel de la sacrectomía y la presencia de reconstrucción espinopélica durante el seguimiento

	EVA				
	Preop (p)	1 mes (p)	6 meses (p)	1 año (p)	2 años (p)
Límite de la osteotomía por encima de S2	0,574	0,055	0,059	0,374	0,142
Reconstrucción espinopélica	1,000	0,628	0,023	0,987	0,593

Preop: preoperatorio

### 4.1.14.2. TIPO DE DOLOR

#### 4.1.14.2.1. DATOS DESCRIPTIVOS

Antes de la cirugía la mayoría de pacientes (72,2%) presentaban dolor axial. Posteriormente predominó el dolor axial y el neurogénico, tendencia que se mantuvo durante el seguimiento (Tabla 44).

Tabla 44. Tipo de dolor durante el seguimiento

Tipo de dolor	Preop	1 mes	6 meses	1 año	2 años
Axial (n/%)	13 (72,2)	2 (11,8)	3 (16,7)	5 (20,4)	5 (17,6)
Neurogénico (n/%)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Axial y neurogénico (n/%)	5 (27,8)	16 (88,9)	15 (83,3)	10 (55,6)	9 (64,3)

Preop: preoperatorio

#### 4.1.14.2.2. RELACIÓN DEL TIPO DE DOLOR CON EL NIVEL DE SACRECTOMÍA Y RECONSTRUCCIÓN ESPINOPÉLVICA

Ni en el preoperatorio ni durante la evolución el tipo de dolor se relacionó con el límite superior de la osteotomía sacra transversal (por encima de S2 o a nivel o por debajo de S2), ni con la clasificación quirúrgica de Fourny et al. (82), Li et al. (199) o de Zhang et al. (202).

Tampoco presentó relación con la realización de reconstrucción espinopélvica.

### 4.1.15. RESULTADOS FUNCIONALES

#### 4.1.15.1. FUNCIÓN MOTORA

##### 4.1.15.1.1. DATOS DESCRIPTIVOS

Tabla 45. Función motora durante el seguimiento

FUNCIÓN MOTORA					
	Preop	1 mes	6 meses	1 año	2 años
Normal	16 (88,9%)	0 (0%)	10 (55,6%)	11 (64,7%)	10 (71,4%)
Problema menor	2 (11,1%)	14 (77,8%)	6 (33,3%)	4 (23,5%)	3 (21,4%)
Problema mayor	0 (0%)	4 (22,2%)	2 (11,1%)	2 (11,8%)	1 (7,1%)

Preop: preoperatorio

##### 4.1.15.1.2. EVOLUCIÓN DURANTE EL SEGUIMIENTO.

Al analizar la evolución de las medianas de la función motora se observó que se producía un empeoramiento de la función motora al primer mes posoperatorio y posteriormente se produjo una mejoría a los 6 meses y sin objetivarse cambios significativos posteriormente (ver Ilustración 86 y Tabla 46).

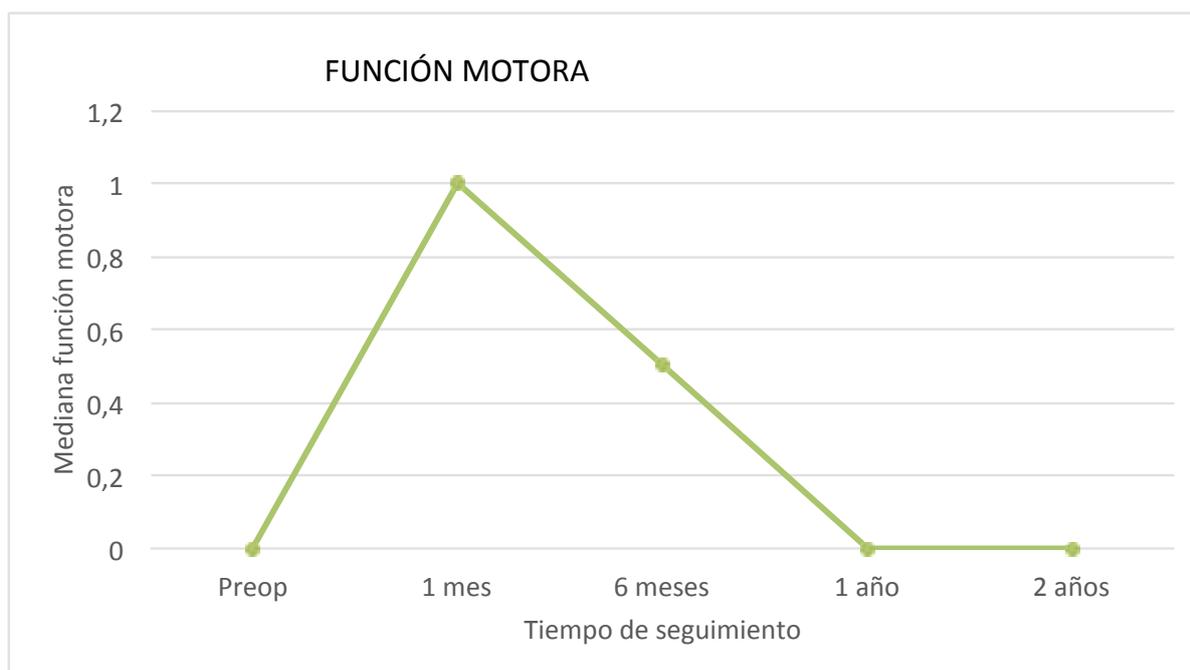


Ilustración 86. Evolución de la función motora

Tabla 46. Análisis de la evolución de la función motora

	FUNCIÓN MOTORA					
	Global	1 mes - preop	6 meses - 1 mes	1 año - 6 meses	2 años - 1 año	1 año - preop
P	0,000	0,000	0,004	0,763	0,414	0,059

Preop: preoperatorio

#### 4.1.15.1.3. RELACIÓN ENTRE LA FUNCIÓN MOTORA AL AÑO Y LAS RAÍCES SALVADAS

En la Tabla 47 se observa la relación entre la salvación de las raíces S1 y la función motora normal al año.

En todos los casos salvo en 1 se salvaron las raíces de L5, por lo que no se pudo evaluar su importancia en el mantenimiento de una función motora normal.

Tabla 47. Relación entre nivel superior de raíces salvadas y la función motora al año

Nivel superior raíces salvadas	Función motora normal al año		p
Raíces S1	Sí	84,6%	0,006
	No	0%	
Raíces S2	Sí	100%	0,084
	No	60%	

#### 4.1.15.1.4. RELACIÓN ENTRE LA FUNCIÓN MOTORA Y LAS CLASIFICACIONES QUIRÚRGICAS DE LA RESECCIÓN SACRA

Al analizar la relación entre la función motora al año y las clasificaciones de resección sacras de Fourny et al. (82), Li et al. (199) y Zhang et al. (202) la única que se relacionó con la función motora fue la Fourny et al. (82) relacionándose con la función motora a los 6 meses ( $\rho$  Spearman = 0,513;  $p = 0,042$ ). Es decir, las resecciones más altas según esta clasificación se asociaron a una mayor disfunción de la función motora.

#### 4.1.15.1.5. RELACIÓN ENTRE LA FUNCIÓN MOTORA POSOPERATORIA Y LA RESECCIÓN DE ARTICULACIÓN SACROILÍACA, DE MUSCULATURA PERIFÉRICA Y DE LA RECONSTRUCCIÓN ESPINOPÉLVICA.

No se observó una relación estadísticamente significativa entre la función motora y la resección de la articulación sacroilíaca, la musculatura periférica (músculos glúteos y piriformes), ni a la realización de una reconstrucción espinopélvica en ningún momento del seguimiento.

## 4.1.15.2. FUNCIÓN VESICAL

### 4.1.15.2.1. DATOS DESCRIPTIVOS

Tabla 48. Función vesical durante el seguimiento

FUNCIÓN VESICAL					
	Preop	1 mes	6 meses	1 año	2 años
Normal	13 (72,2%)	1 (5,6%)	2 (11,1%)	2 (11,1%)	0 (0%)
Problema menor	4 (22,2%)	1 (5,6%)	4 (22,2%)	9 (50%)	9 (64,3%)
Problema mayor	1 (5,6%)	14 (77,8%)	12 (66,7%)	6 (37,5%)	5 (29,4%)

Preop: preoperatorio

El 77,8% de los pacientes llevaban de sonda vesical al alta.

### 4.1.15.2.2. EVOLUCIÓN DURANTE EL SEGUIMIENTO

En el análisis de las medianas de la función vesical según el tiempo de evolución se objetivó que se producía un deterioro de la función vesical al mes de la cirugía, manteniéndose estable entre el primer mes y los 6 meses posoperatorios y mejorando entre los 6 meses y el año, manteniéndose estable después del primer año (ver Ilustración 87 y Tabla 49). No se objetivó diferencia entre la función vesical preoperatoria y la de 1 año tras la cirugía.

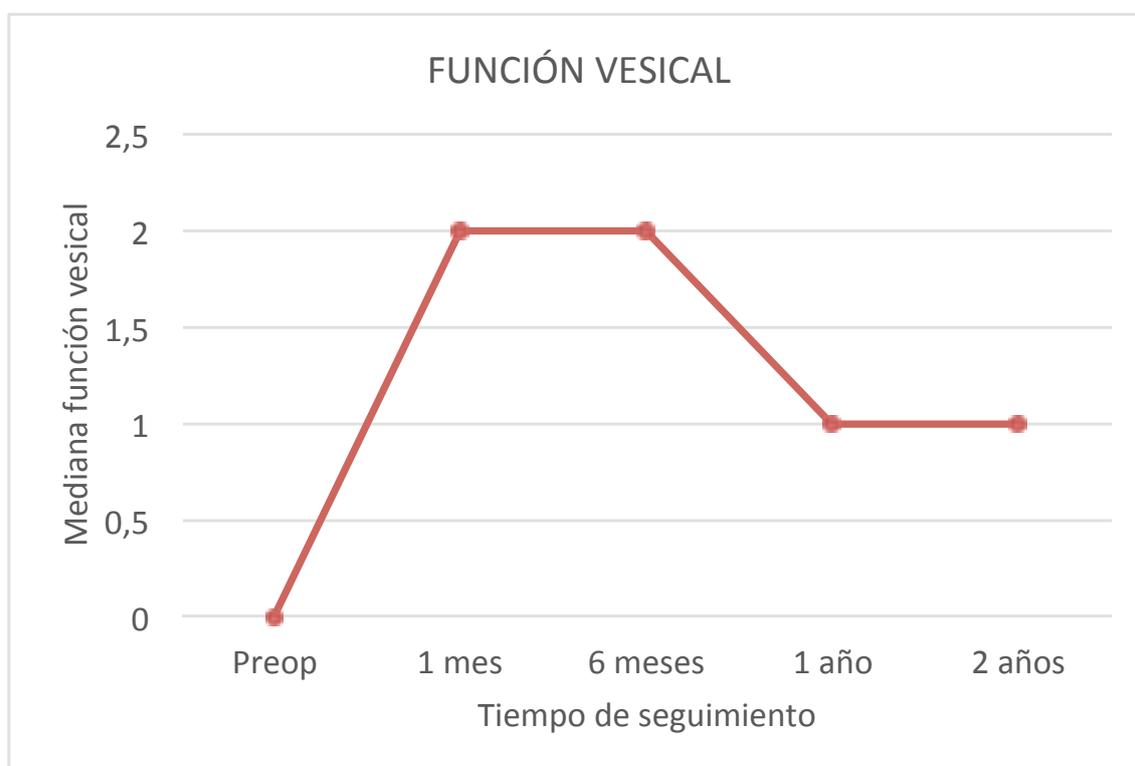


Ilustración 87. Evolución de la función vesical

Tabla 49. Análisis de la evolución de la función vesical

	FUNCIÓN VESICAL					
	Global	1 mes - preop	6 meses - 1 mes	1 año - 6 meses	2 años - 1 año	1 año - preop
P	0,000	0,000	0,180	0,025	0,564	0,655

Preop: preoperatorio

#### 4.1.15.2.3. RELACIÓN ENTRE LA FUNCIÓN VESICAL AL AÑO Y LAS RAÍCES SALVADAS

En la Tabla 50 se muestra que no existieron diferencias en la función vesical al año en la salvación del nivel superior de las raíces S1 y S2.

No se pudo realizar este análisis con las raíces S3 por solo existir 2 casos en los que no fueron amputadas.

Tabla 50. Relación entre nivel superior de raíces salvadas y la función vesical al año

Nivel superior raíces salvadas	Función motora normal al año	p
Raíces S1	Sí	0%
	No	0%
Raíces S2	Sí	25%
	No	0%
Raíces S3	Sí	-
	No	-

#### 4.1.15.2.4. RELACIÓN ENTRE LA FUNCIÓN VESICAL Y LAS CLASIFICACIONES QUIRÚRGICAS DE LA RESECCIÓN SACRA

Al analizar la relación entre la función vesical al año y las clasificaciones de Fourny et al. (82), Li et al. (199) y Zhang et al. (202) la única que se relacionó con la función vesical fue la Fourny et al. (82) presentando una relación lineal con ella al mes ( $\rho$  Spearman=0,646  $p = 0,005$ ), a los 6 meses ( $\rho$  Spearman=0,748  $p = 0,001$ ), al año ( $\rho$  Spearman=0,646  $p = 0,001$ ) y a los 2 años ( $\rho$  Spearman=0,788  $p = 0,001$ ). Es decir, las resecciones más altas según esta clasificación se asociaron a una mayor disfunción vesical.

#### 4.1.15.2.5. RELACIÓN ENTRE LA FUNCIÓN VESICAL POSOPERATORIA Y LA RESECCIÓN DE ARTICULACIÓN SACROILÍACA, RESECCIÓN MUSCULATURA PERIFÉRICA Y RECONSTRUCCIÓN ESPINOPÉLVICA.

No se observó una relación estadísticamente significativa entre la función vesical y la resección de la articulación sacroilíaca, musculatura periférica (músculos glúteos y piriformes) ni a la realización de una reconstrucción espinopélvica en ningún momento del seguimiento.

### 4.1.15.3. FUNCIONAL INTESTINAL

#### 4.1.15.3.1. DATOS DESCRIPTIVOS

Tabla 51. Función intestinal durante el seguimiento

FUNCIÓN INTESTINAL					
	Preop	1 mes	6 meses	1 año	2 años
Normal	14 (77,8%)	1 (5,6%)	1 (5,6%)	4 (23,5%)	5 (33,3%)
Problema menor	3 (16,7%)	1 (5,6%)	8 (44,4%)	8 (47,1%)	7 (46,7%)
Problema mayor	1 (5,6%)	16 (88,9%)	9 (50%)	5 (29,4%)	3 (20%)

Preop: preoperatorio

#### 4.1.15.3.2. EVOLUCIÓN DURANTE EL SEGUIMIENTO

En el análisis de las medianas de la función intestinal según el tiempo de evolución se objetivó que se producía un deterioro al mes de la cirugía, manteniéndose estable entre el primer mes y los 6 meses posoperatorios y mejorando entre los 6 meses y el año, manteniéndose estable después del primer año (ver Ilustración 88 y Tabla 52). Se observaron diferencias significativas entre la función intestinal preoperatoria y la del año tras la cirugía.

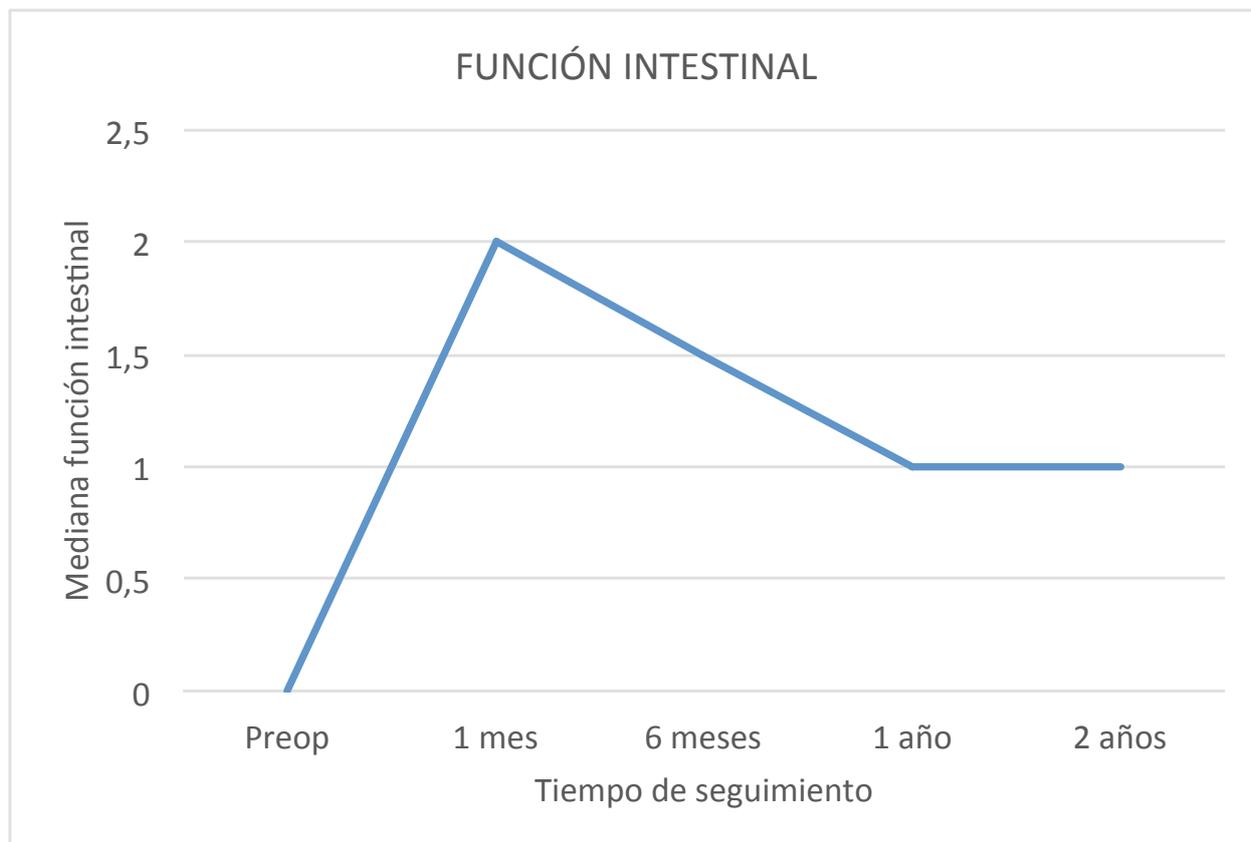


Ilustración 88. Evolución de la función intestinal

Tabla 52. Análisis de la evolución de la función intestinal

FUNCIÓN INTESTINAL						
	Global	1 mes - preop	6 meses - 1 mes	1 año - 6 meses	2 años - 1 año	1 año - preop
P	0,000	0,000	0,008	0,025	0,564	0,004

Preop: preoperatorio

#### 4.1.15.3.3. RELACIÓN ENTRE LA FUNCIÓN INTESTINAL AL AÑO Y LAS RAÍCES SALVADAS

En la Tabla 53 se muestra que no existieron diferencias en la función intestinal al año en la salvación del nivel superior de raíces S1 y S2.

No se pudo realizar este análisis con las raíces S3 por solo existir 2 casos en los que no fueron amputadas.

Tabla 53. Relación entre nivel superior de raíces salvadas y la función intestinal al año

Nivel superior raíces salvadas	Función motora normal al año		p
Raíces S1	Sí	30,8%	0,300
	No	0%	
Raíces S2	Sí	50%	0,029
	No	0%	
Raíces S3	Sí	-	-
	No	-	

#### 4.1.15.3.4. RELACIÓN ENTRE LA FUNCIÓN INTESTINAL Y LAS CLASIFICACIONES QUIRÚRGICAS DE LA RESECCIÓN SACRA

Al analizar la relación entre la función intestinal al año y las clasificaciones de Fourny et al. (82), Li et al. (199) y Zhang et al. (202) la única que se relacionó con la función intestinal fue la Fourny et al (82) presentando una relación lineal con la función intestinal al mes ( $\rho$  Spearman = 0,569 p = 0,014) y al año ( $\rho$  Spearman = 0,732 p = 0,001). Es decir, las resecciones más altas según esta clasificación se asociaron a una mayor disfunción intestinal.

#### 4.1.15.3.5. RELACIÓN ENTRE LA FUNCIÓN INTESTINAL POSOPERATORIA SEGÚN SI SE HA REALIZADO RESECCIÓN DE ARTICULACIÓN SACROILÍACA, RESECCIÓN MUSCULATURA PERIFÉRICA Y RECONSTRUCCIÓN ESPINOPÉLVICA.

No se observó una relación estadísticamente significativa entre la función intestinal y la resección de la articulación sacroilíaca, la musculatura periférica (músculos glúteos y piriformes) ni a la realización de una reconstrucción espinopélvica durante el seguimiento.

#### 4.1.15.4. EVOLUCIÓN FUNCIÓN MOTORA, INTESTINAL Y VESICAL

Al valorar la evolución de la función motora, intestinal y vesical posoperatorias de forma conjunta (Ilustración 89) se observa como el estado de la función intestinal y vesical alcanzó mayor grado de alteración que la función que la motora.

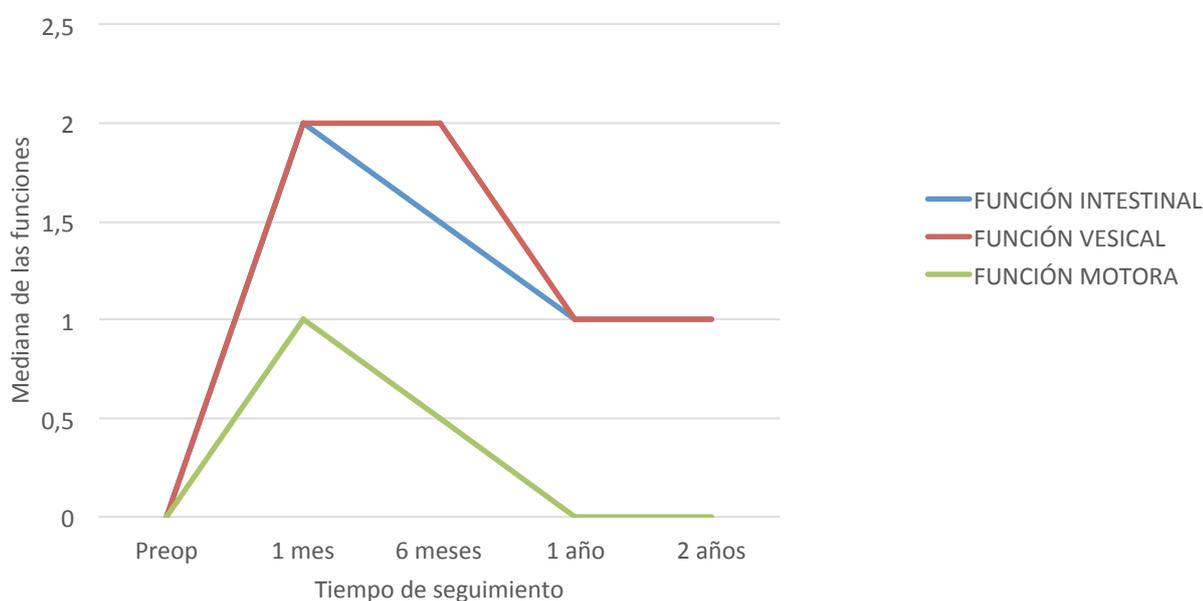


Ilustración 89. Evolución de la función motora, vesical e intestinal

#### 4.1.15.5. FUNCIÓN SEXUAL

La información sobre la función sexual fue incompleta en el 88,9% de los pacientes, por lo que no fue analizada.

#### 4.1.15.6. SENSIBILIDAD

La información sobre la sensibilidad tanto en zona perineal como en miembros inferiores no se pudo encontrar en el 77,8% de los pacientes, por lo que no fue analizada.

### 4.1.16. RESULTADOS ONCOLÓGICOS

#### 4.1.16.1. RECURRENCIA Y METÁSTASIS

##### 4.1.16.1.1. DATOS DESCRIPTIVOS

##### 4.1.16.1.1.1. RECURRENCIA

Se produjeron 6 recurrencias locales en 18 pacientes (33,33%) en una mediana de tiempo desde la cirugía hasta la recurrencia de 18,91 meses (RIC 9,09-65,528). 5 se produjeron en cordomas y 1 en leiomiomasarcoma.

En el grupo de los cordomas, se produjeron 5 casos de recurrencia (2 con cirugía previa), 4 metástasis y 3 fallecimientos por evolución de enfermedad. Los casos de los cordomas la recurrencia se produjo en una mediana de 18,9 meses (RIC 9,09-15,9), la metástasis 31,36 meses (RIC 15,9-95,42) y el fallecimiento a los 54 meses (RIC 37,1-138-9).

En el caso de leiomiomasarcoma, recidivó a los 10 meses, metastatizó a los 15 meses y falleció a los 20 meses de la cirugía.

#### 4.1.16.1.1.2. METÁSTASIS

5 de 18 pacientes (27,8%) presentaron metástasis. 4 presentaron márgenes contaminados tras la cirugía y 1 no (caso 9). 4 casos eran cordomas y 1 leiomiosarcoma.

La mediana de tiempo desde la cirugía primaria hasta la metástasis fue de 31,36 meses (RIC 15,9-95,42).

#### 4.1.16.1.2. TRATAMIENTO DE LAS RECURRENCIAS Y LAS METÁSTASIS

En los 6 casos de recurrencia en 1 caso se realizó quimioterapia sola, en 1 caso radioterapia sola y en 1 caso resección sola, en 2 casos quimioterapia y radioterapia.

De los 5 casos de metástasis en 1 caso se trató con quimioterapia y 1 caso con radioterapia, cirugía y quimioterapia.

#### 4.1.16.1.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA RECURRENCIA Y METÁSTASIS DEL TUMOR

En la Tabla 54 se observa como la recurrencia, se asoció a la obtención de los márgenes intralesionales y a la afectación de tejidos cercanos al sacro en el grupo cordoma. La metástasis se asoció con los márgenes intralesionales y con la afectación de tejidos cercanos al sacro

Tabla 54. Análisis univariante de los factores que influyen en la recurrencia y metástasis del tumor

Factores	RECURRENCIA		METÁSTASIS	
	Muestra total	Grupo cordoma	Muestra total	Grupo cordoma
	p	p	p	p
Cirugía previa	0,304	0,272	0,214	0,214
Vía de abordaje	0,694	0,489	0,635	0,635
Márgenes intralesionales	0,057	0,036	0,013	0,013
Biopsia realizada fuera del centro	0,373	0,231	0,100	0,100
Niveles de resección sacra				
Clasificación quirúrgica sacro				
- Fourney et al. (82)	0,539	0,644	0,409	0,409
- Li et al. (199)	0,290	0,344	0,301	0,301
- Zhang et al. (202)	0,450	0,225	0,430	0,430
Sacrectomía total/subtotal	0,403	0,667	0,420	0,420
Límite osteotomía transversal < S2/≥ S2	0,200	0,344	0,210	0,210
Afectación de tejidos cercanos al sacro*	0,043	0,035	0,038	0,038
Diámetro mayor tumor en RM > 10 cm	0,294	0,294	0,462	0,462

\*Valorado en pacientes sin antecedentes de cirugía tumoral y con márgenes marginales.

#### 4.1.16.1.4. ESTADO AL FINAL DEL SEGUIMIENTO

Al final del seguimiento el 37,5% (6 casos) habían fallecido, y el 66,7% (12 casos) estaba vivo libre de enfermedad.

De los 6 pacientes fallecidos al final del seguimiento 5 casos (83,33%) la causa de muerte se relacionó con la enfermedad y en 1 caso no lo estuvo.

#### 4.1.16.2. MÁRGENES QUIRÚRGICOS

##### 4.1.16.2.1. DATOS DESCRIPTIVOS

En el 66,7% (12 casos) fueron marginales y en el 33,3% (6 casos) fueron intralesionales. En el 5,6% (1 caso) se produjo obertura del tumor intraoperatoria y se consideró como margen intralesional. Todos los márgenes marginales se presentaron en cordomas.

##### 4.1.16.2.2. FACTORES QUE INFLUYERON EN LA OBTENCIÓN DE MÁRGENES LIBRES DE TUMOR

En la Tabla 55 se observa como la recurrencia, se asoció a la obtención de los márgenes intralesionales y a la afectación de tejidos cercanos al sacro en el grupo cordoma. La metástasis se asoció con los márgenes intralesionales y con la afectación de tejidos cercanos al sacro (Tabla 54).

Tabla 55. Análisis univariante de factores que condicionan los márgenes quirúrgicos

Factores	Márgenes intralesionales	Muestra total	Grupo cordoma
	N(%)	p	p
Niveles de resección sacra			
Clasificación quirúrgica sacro			
- Fourney et al. (82)		0,139	0,287
- Li et al. (199)		0,290	0,340
- Zhang et al. (202)		0,450	0,293
Sacrectomía < S2/≥ S2		0,403	0,781
Límite de osteotomía sacra		0,200	0,398
Afectación tejidos cercanos al sacro	4/12 (33,33)	0,063	0,078
Diámetro tumor mayor 10 cm en RM	3/7 (42,86)	0,484	0,706
Vía de abordaje			
- Anterior-posterior secuencial	4/12 (33,3)	0,661	0,390
- Posterior solo	2/6 (33,3)		

4.1.16.2.3. RESULTADOS ONCOLÓGICOS SEGÚN TIPO DE MÁRGENES EN LA RESECCION

**A) MUESTRA GLOBAL**

De los 6 márgenes intralesionales se objetivó recurrencia en 4 casos (66,7%), Chi-cuadrado Pearson = 5,605, p = 0,036. OR = 0,56 (IC 95% 0,004 - 0,805).

*Tabla 56. Resultados oncológicos según los márgenes quirúrgicos en el total de la muestra.*

Margen	n	Recurrencia local	Metástasis	Muerto	Vivo sin enfermedad	Vivo con enfermedad
Marginal	12	2	1	2	10	0
Intralesional	6	4	4	4	2	0

**B) GRUPO CORDOMA**

De los 5 márgenes intralesionales se objetivó recurrencia en 4 casos (66,7%), Chi-cuadrado Pearson = 5,605, p = 0,036. OR = 0,56 (IC 95% 0,004 - 0,805).

*Tabla 57. Resultados oncológicos según los márgenes quirúrgicos en el grupo de cordomas.*

Margen	n	Recurrencia local	Metástasis	Muerto	Vivo sin enfermedad	Vivo con enfermedad
Marginal	11	1	1	1	10	0
Intralesional	5	4	3	4	1	0

4.1.16.2.4. SUPERVIVENCIA

4.1.16.2.4.1. TASAS DE SUPERVIVENCIA

4.1.16.2.4.1.1. SUPERVIVENCIA GLOBAL (SG)

En la Tabla 58 se muestran las tasas de SG en toda la muestra y en el grupo cordoma.

*Tabla 58. Tasas de SG en toda la muestra y en el grupo cordoma*

		SG	SG SEGÚN DIFERENTES FACTORES					
			MÁRGENES		RECURRENCIA		METÁSTASIS	
Tiempo			Intralesional	Marginal	Sí	No	Sí	No
TOTAL MUESTRA	5 años	80%	67%	88%	67%	88%	60%	89%
	10 años	53%	0%	88%	30%	88%	0%	89%
CORDOMA	5 años	80%	67%	88%	67%	88%	60%	89%
	10 años	53%	0%	88%	30%	88%	0%	89%

#### 4.1.16.2.4.1.2. SUPERVIVENCIA LIBRE DE ENFERMEDAD (SLE)

En la Tabla 59 se muestran las tasas de SLE en toda la muestra y en el grupo cordoma.

Tabla 59. Tasas de SLE en toda la muestra y en el grupo cordoma

	Tiempo	SLE	SG SEGÚN MÁRGENES	
			Intralesional	Marginal
TOTAL MUESTRA	5 años	71%	60%	75%
	10 años	47%	0%	75%
CORDOMA	5 años	76%	75%	75%
	10 años	51%	0%	75%

#### 4.1.16.2.4.1.3. SUPERVIVENCIA LIBRE DE METÁSTASIS (SLM)

En la Tabla 60 se muestran las tasas de SLM en toda la muestra y en el grupo cordoma.

Tabla 60. Tasas de SLM en toda la muestra y en el grupo cordoma

	Tiempo	SLE	SG SEGÚN MÁRGENES	
			Intralesional	Marginal
TOTAL MUESTRA	5 años	80%	60%	89%
	10 años	53%	0%	89%
CORDOMA	5 años	85%	75%	89%
	10 años	57%	38%	89%

#### 4.1.16.2.4.1.4. MEDIANA DE SUPERVIVENCIA GLOBAL, LIBRE DE ENFERMEDAD Y LIBRE DE METÁSTASIS

En la muestra total y en el grupo cordoma las medianas de supervivencia fueron iguales. La mediana de SG fue de 154,314 meses (IC 95% 110,7-198,0), la de SLE de 151,729 meses (IC 95% 104,487-198,971) y la de SLM de 163,483 meses (IC 95% 117,236-209,729).

#### 4.1.16.2.4.1.5. FACTORES PRONÓSTICO DE SG, SLE Y SLM EN CORDOMAS

En la Tabla 61 se muestran los factores asociados a la SG, SLE y SLM. Se asoció a la SG la cirugía previa, la infiltración de los tejidos circundantes al sacro, los márgenes intralesionales, la recurrencia y la metástasis. Se asociaron a SLE la cirugía previa, la infiltración de los tejidos circundantes al sacro, los márgenes intralesionales y la metástasis. Se asociaron a SLM la cirugía previa, la infiltración de los tejidos circundantes al sacro, los márgenes intralesionales y la recurrencia.

Tabla 61. Análisis univariante de factores pronóstico de SG, SLE y SLM en el grupo cordoma

Variables	Parámetros	SG (p)	SLE (p)	SLM (p)
Edad	< 52 años ≥ 52 años	0,130	0,279	0,343
Sexo	Mujer Hombre	0,505	0,347	0,422
Índice Karnofsky	< 80 ≥ 80	0,635	0,826	0,321
Índice ASA	0-2 3-4	0,224	0,655	0,683
Índice Comorbilidad Charlson	0 2-3	0,190	0,265	0,184
Cirugía previa	No Sí	0,020	0,032	0,006
Diámetro mayor tumor	< 10 cm ≥ 10 cm	0,750	0,245	0,917
Infiltración tejidos circundantes	No Sí	0,043	0,040	0,043
Límite superior de osteotomía	≥ S2 < S2	0,490	0,388	0,423
Abordaje quirúrgico	Anterior- posterior Solo posterior	0,890	0,987	0,486
Sangrado intraoperatorio	< 2900 cc ≥ 2900 cc	0,111	0,279	0,201
Márgenes	Marginal Intralesional	0,026	0,048	0,031
Recurrencia	No Sí	0,047	-	0,003
Metástasis	No Sí	0,026	0,021	-
Radioterapia adyuvante	No Sí	0,183	0,389	0,297
Reconstrucción	No Sí	0,077	0,067	0,572

## 4.2. ESTUDIO BIOMECÁNICO EXPERIMENTAL

### 4.2.1. ESTUDIO CON MODELO DE ELEMENTO FINITOS

#### 4.2.1.1. DESPLAZAMIENTO VERTICAL

En la Tabla 62 y en la Ilustración 90 se objetiva que los Modelos 1 y 2 son los que presentan mayor desplazamiento vertical a nivel de L3, L4 y L5. Los Modelos 5 y 6, con la nueva técnica, presentaron los menores desplazamientos. Por ello afirmamos que estos últimos son los que proporcionaron mayor estabilidad en la unión espinopélvica en pacientes sometidos a una sacrectomía total.

Tabla 62. Desplazamiento vertical de los diferentes modelos

	MODELOS					
Desplazamiento vertical (mm)	1	2	3	4	5	6
L3	-5,45	-5	-2,3	-1,73	-0,03	-0,03
L4	-5,45	-5,6	-2,15	-2,14	-0,5	-0,5
L5	-5,08	-5,15	-1,69	-1,7	-0,13	-0,13

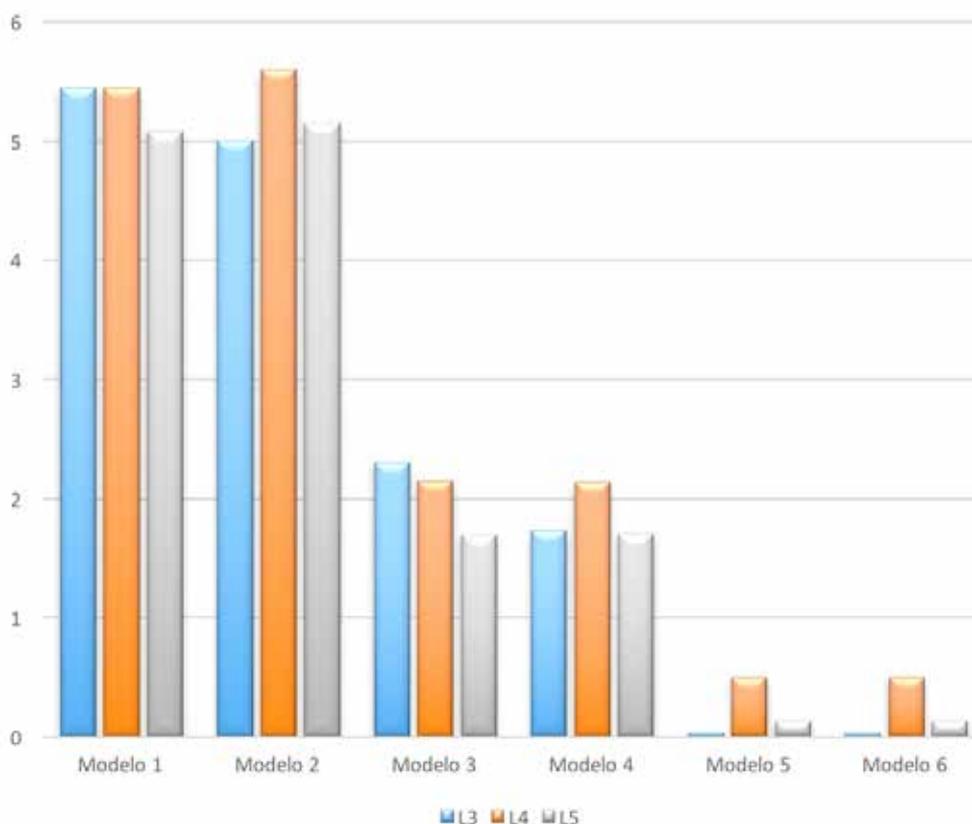


Ilustración 90. Gráfico de barras que muestra el desplazamiento vertical en L3, L4 y L5 (en valores absolutos, medidos en mm) de los diferentes modelos.

## 4.2.1.2. TENSIÓN EN IMPLANTES

### 4.2.1.2.1. VALORES DE TENSIÓN MÁXIMA DE VON MISSES EN IMPLANTES

Las mayores tensiones máximas de Von Mises en los implantes se objetivaron en los Modelos 1 y 2 y las menores en los Modelos 5 y 6. Ver Tabla 63.

El uso de la pieza sustitutiva sacra (Modelos 5 y 6) produjo una reducción de tensiones de un 91% respecto los Modelos 1 y 2 y de un 86% respecto los Modelos 3 y 4.

Tabla 63. Tensión de Von Mises máxima en los implantes en los diferentes modelos

	MODELOS					
	1	2	3	4	5	6
Máxima tensión Von Mises (MPa)	1179	1182	787	786	112	112

### 4.2.1.2.2. DISTRIBUCIÓN DE LA TENSIÓN MÁXIMA DE VON MISSES EN LOS IMPLANTES

#### 4.2.1.2.2.1. MODELO 1

Como se observa en la Ilustración 91 las tensiones máximas se concentraron en las barras que unen L5 con los tornillos anclados en la pelvis, alcanzando valores de 1179 MPa. Por ello, esa zona presenta una mayor tendencia al fallo del instrumental.

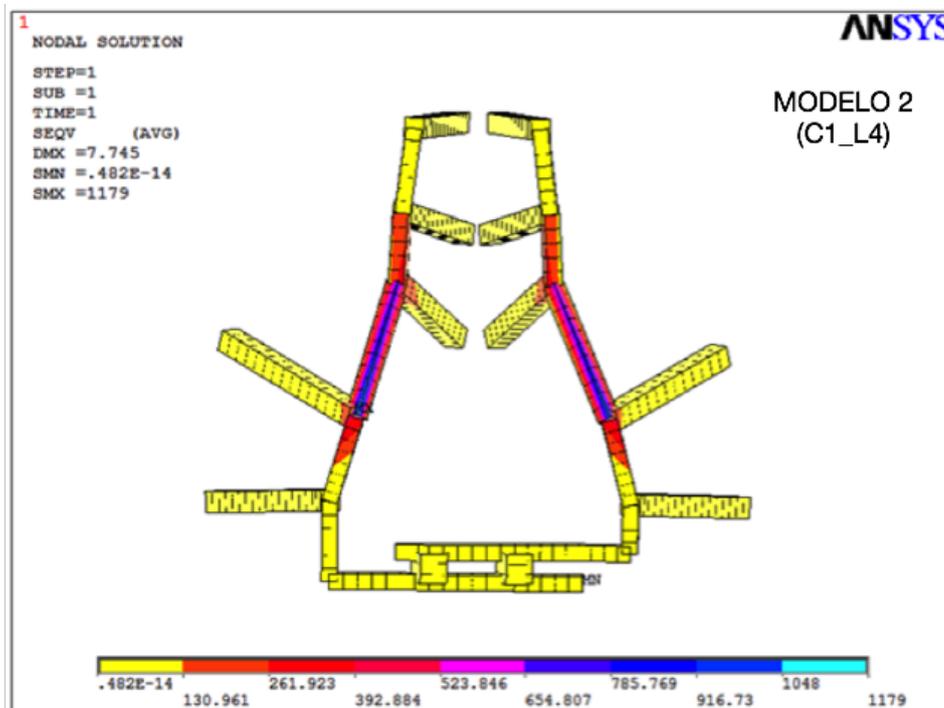


Ilustración 91. Tensión de Von Mises (MPa) en el Modelo 1

#### 4.2.1.2.2.2. MODELO 2

Como se puede observar en la Ilustración 92, las tensiones máximas se concentraron en las barras que unen L5 con los tornillos anclados en la pelvis, alcanzando valores de 1183 MPa. Por ello, esa zona presenta una mayor tendencia al fallo del instrumental.

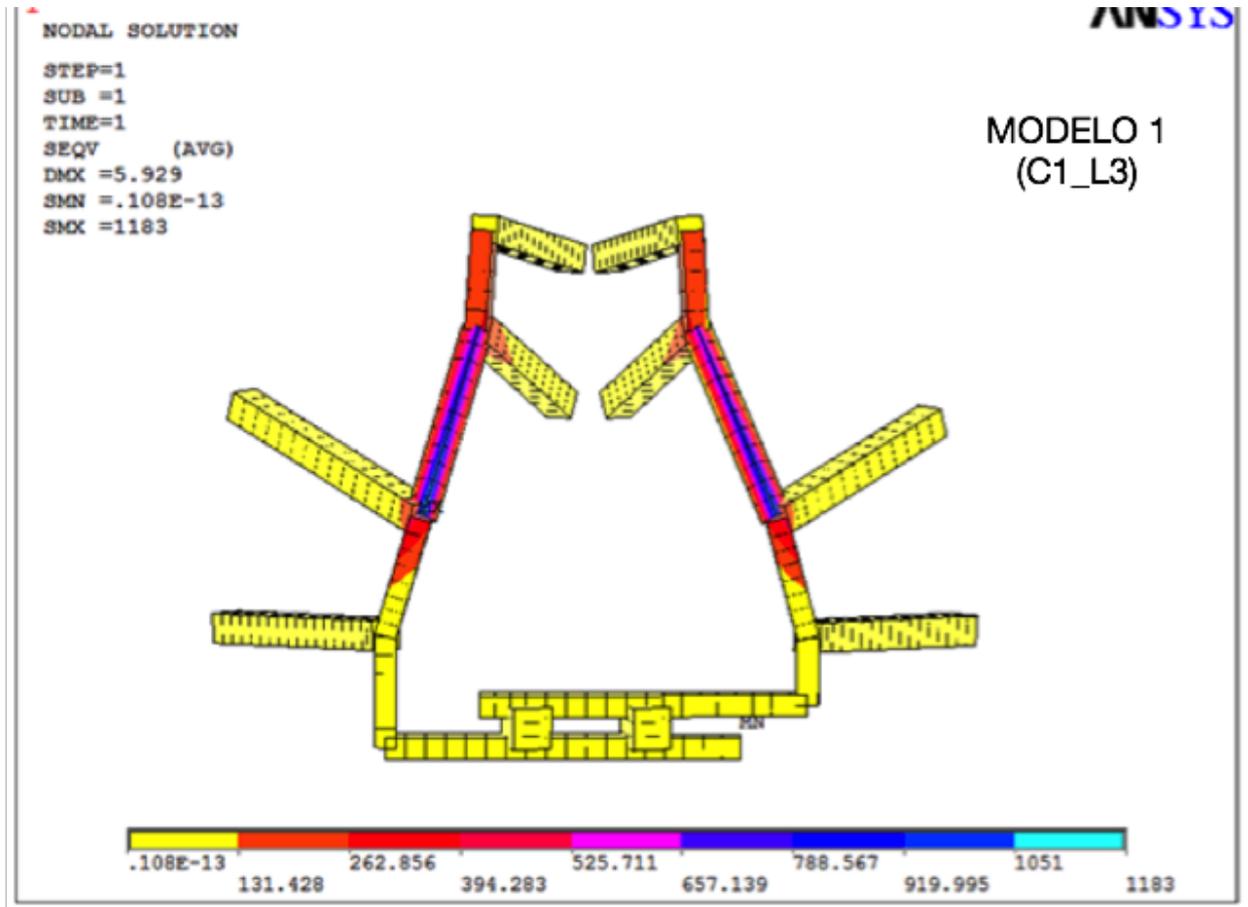


Ilustración 92. Tensión de Von Misses (MPa) en el Modelo 2

Por tanto, los Modelos 1 y 2 presentan tensión de Von Misses parecidas en la misma zona, con la misma tendencia al fallo del instrumental.

#### 4.2.1.2.2.3. MODELO 3

Como se puede observar en la Ilustración 93, las tensiones máximas se concentran en las barras que unen L5 con los tornillos anclados en la pelvis, alcanzando valores de 787 MPa. También son altas las tensiones en los elementos de conexión transversal. Por ello, esa zona presenta una mayor tendencia al fallo del instrumental.

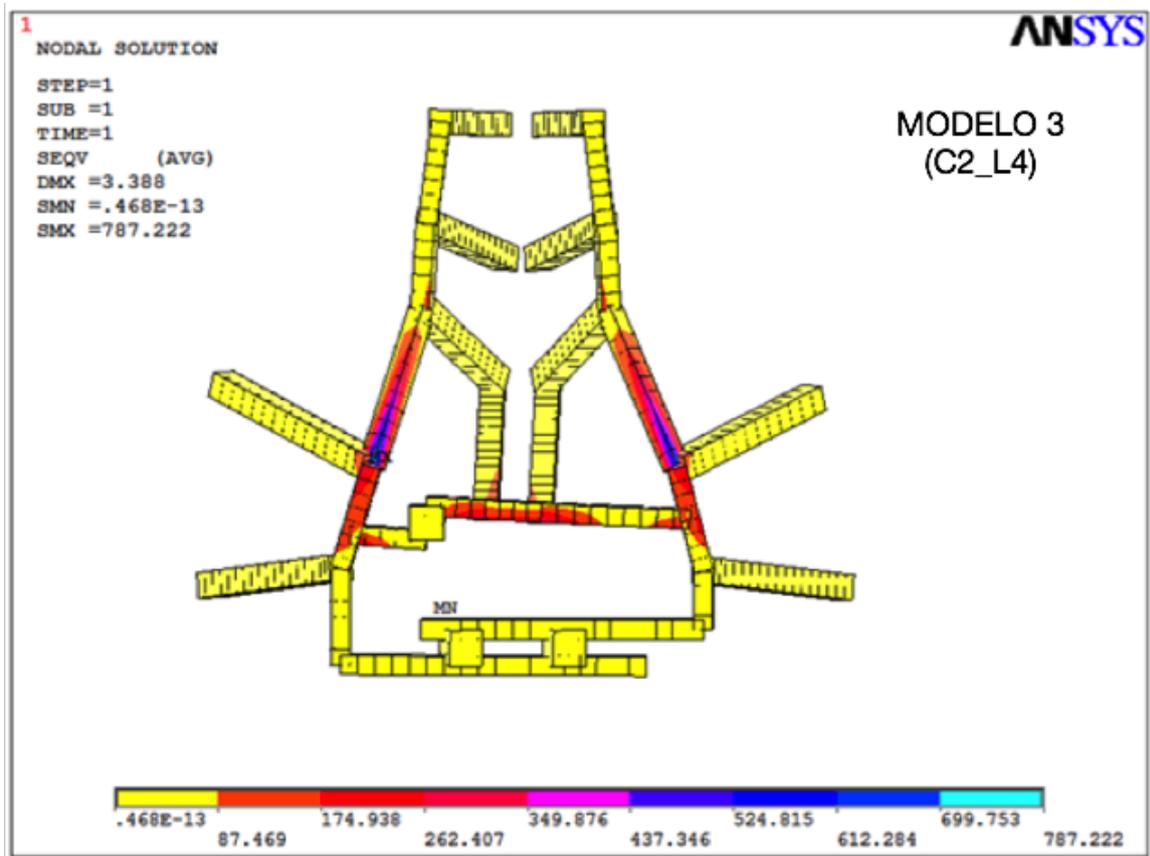


Ilustración 93. Tensión de Von Misses (MPa) en el Modelo 3

#### 4.2.1.2.2.4. MODELO 4

Como se puede observar en la Ilustración 94, las tensiones máximas se concentran en las barras que unen L5 con los tornillos anclados en la pelvis, alcanzando valores de 786 MPa. También son altas las tensiones en los elementos de conexión transversales. Por ello, esa zona presenta una mayor tendencia al fallo del instrumental.

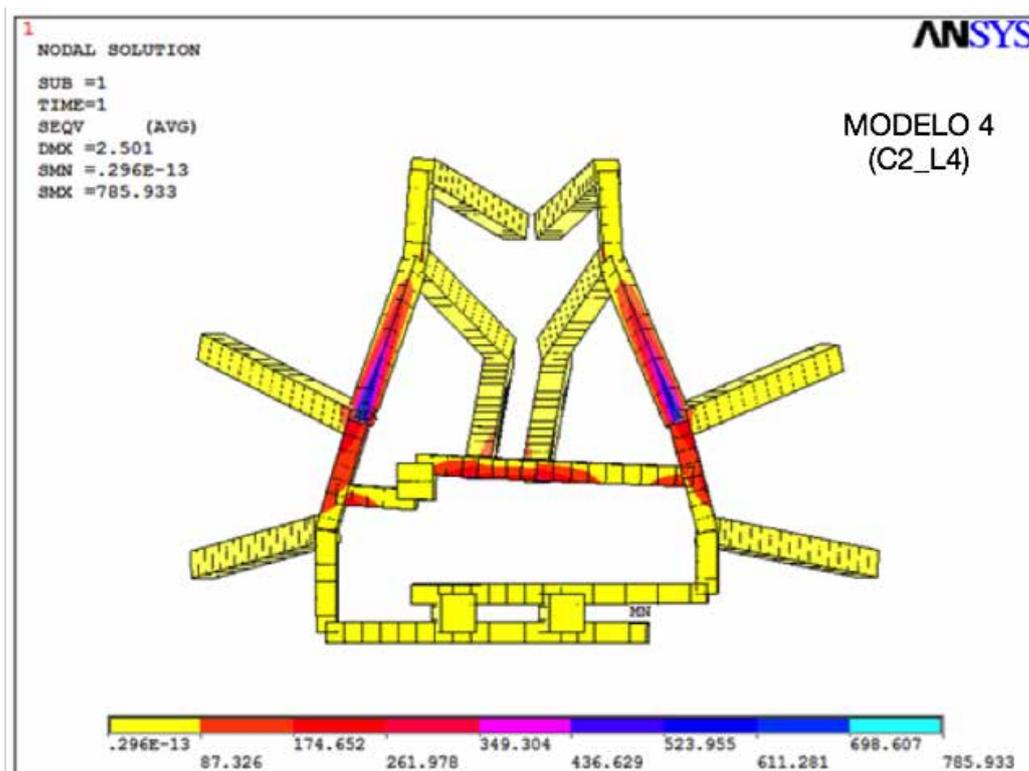


Ilustración 94. Tensión de Von Misses (MPa) en el Modelo 4

Por tanto, los Modelos 3 y 4 presentan tensión de Von Mises parecidas en la misma zona, con la misma tendencia al fallo del instrumental, pero con menores tensiones máxima de Von Mises, por lo que presentan menor tendencia al fallo del instrumental.

#### 4.2.1.2.2.5. MODELO 5

Como se puede observar en la Ilustración 95, las tensiones máximas se concentran en las barras que unen L5 con los tornillos anclados a la prótesis de sacro, alcanzando valores de 112 MPa. Por ello, esa zona presenta una mayor tendencia al fallo del instrumental.

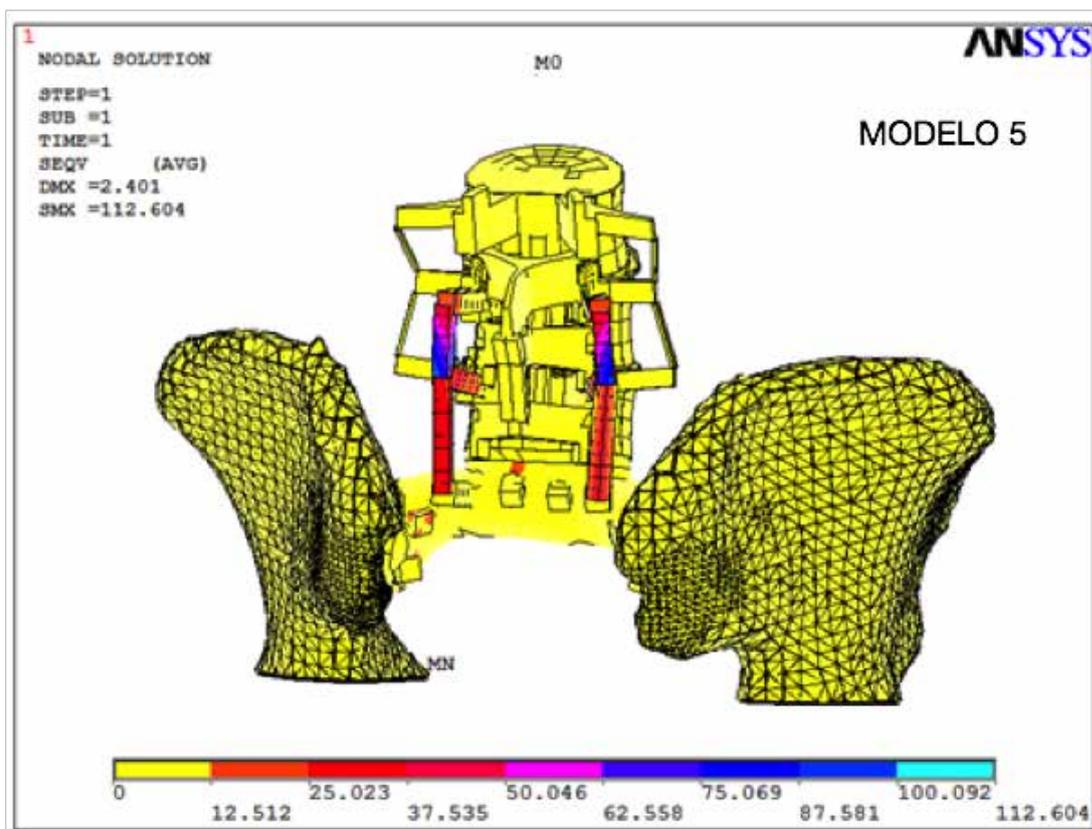


Ilustración 95. Tensión de Von Mises (MPa) en el Modelo 5.

#### 4.2.1.2.2.6. MODELO 6

En el Modelo 6, como se puede observar en la Ilustración 96, las tensiones máximas se concentran en las barras que unen L5 con los tornillos anclados a la prótesis de sacro, alcanzando valores de 112 MPa. Las tensiones en la barra de conexión entre las dos zonas de la pelvis alcanzan de 12 MPa, pero poseen una ligera influencia en la disminución de las tensiones en las barras que unen L5 a la prótesis de sacro.

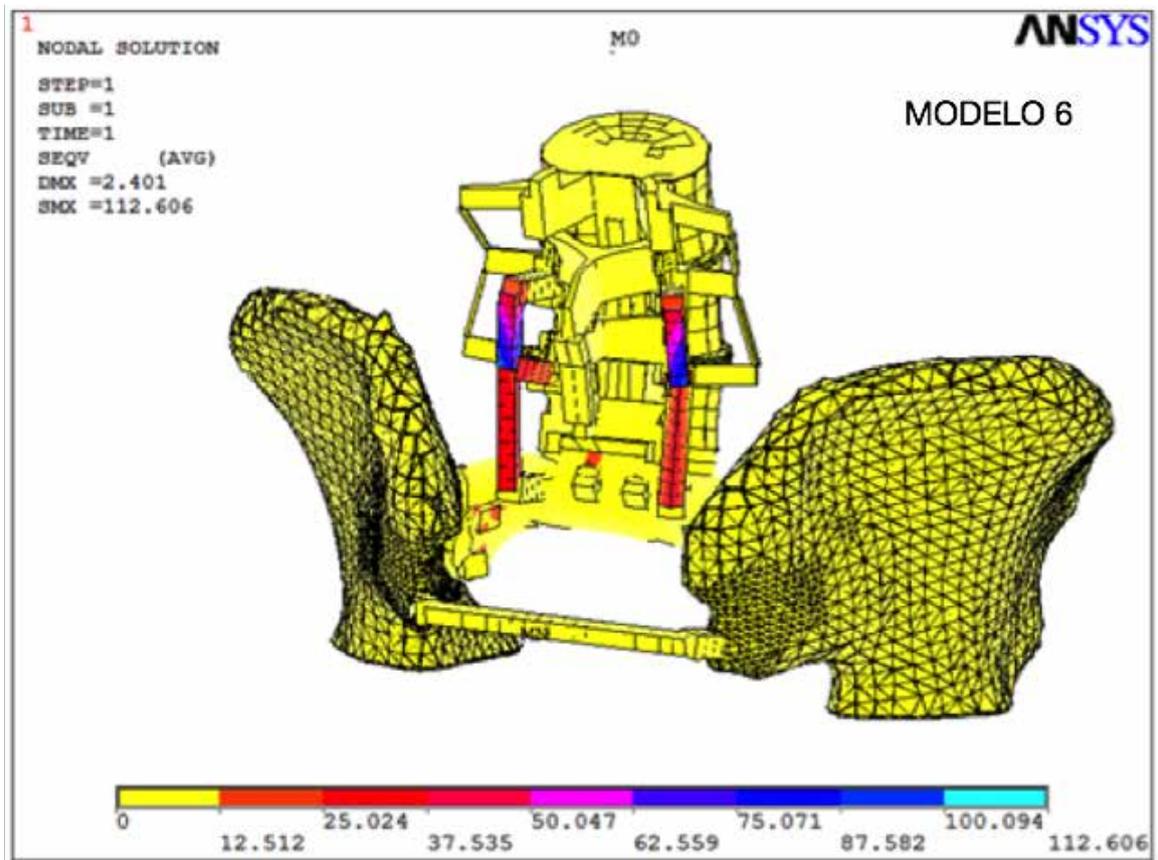


Ilustración 96. Tensión de Von Misses (MPa) en el Modelo 6

Por tanto, los Modelos 5 y 6 presentan tensiones de Von Misses parecidas en la misma zona, con la misma tendencia al fallo del instrumental, pero con menores tensiones máximas de Von Misses, por lo que presentan menor tendencia al fallo del instrumental.

### 4.2.1.3. RIGIDEZ

En la Tabla 64 se objetiva como los modelos 5 y 6 presentan la mayor rigidez.

Tabla 64. Valores de rigidez de los diferentes modelos

	MODELOS					
	1	2	3	4	5	6
Rigidez (Nm/mm)	232,1	292,7	465,7	462,4	861,5	861,5

#### 4.2.1.4. INCIDENCIA PÉLVICA

Los Modelos 5 y 6 fueron contruidos teniendo en cuenta la mPI del caso 4 tomando como referencia la medida en las imágenes de TC (ver Tabla 65). De forma que la mPI de los modelos reconstruidos con la pieza sustitutiva sacra mantuvieron la mPI preoperatoria del paciente.

Tabla 65. Incidencia pélvica modificada en las reconstrucciones

	Preoperatorio (medido en TC)	1ª reconstrucción (medido en TC)	2ª reconstrucción (medido en TC)	Reconstrucción con pieza sustitutiva sacro (valor teórico)
Ángulo de mPI	44,0°	24,8°	25,1°	44,0°

#### 4.2.2. ESTUDIO DE FATIGA CON MODELO DE POLIAMIDA

El espécimen completó los 5.000.000 de ciclos sin fallo.

#### 4.2.3. ESTUDIO DE FATIGA CON CADÁVER

El modelo de reconstrucción de sacro soportó 250.000 ciclos sin observarse fracaso del mismo. Tampoco se observaron signos de aflojamiento ni de fallo de implante (ver Ilustraciones 97, 98, 99 y 100).



Ilustración 97. Radiografía simple del Modelo 5 tras su implantación en cadáver antes del ensayo de fatiga. (A) Visión antero-posterior. (B) Visión perfil.

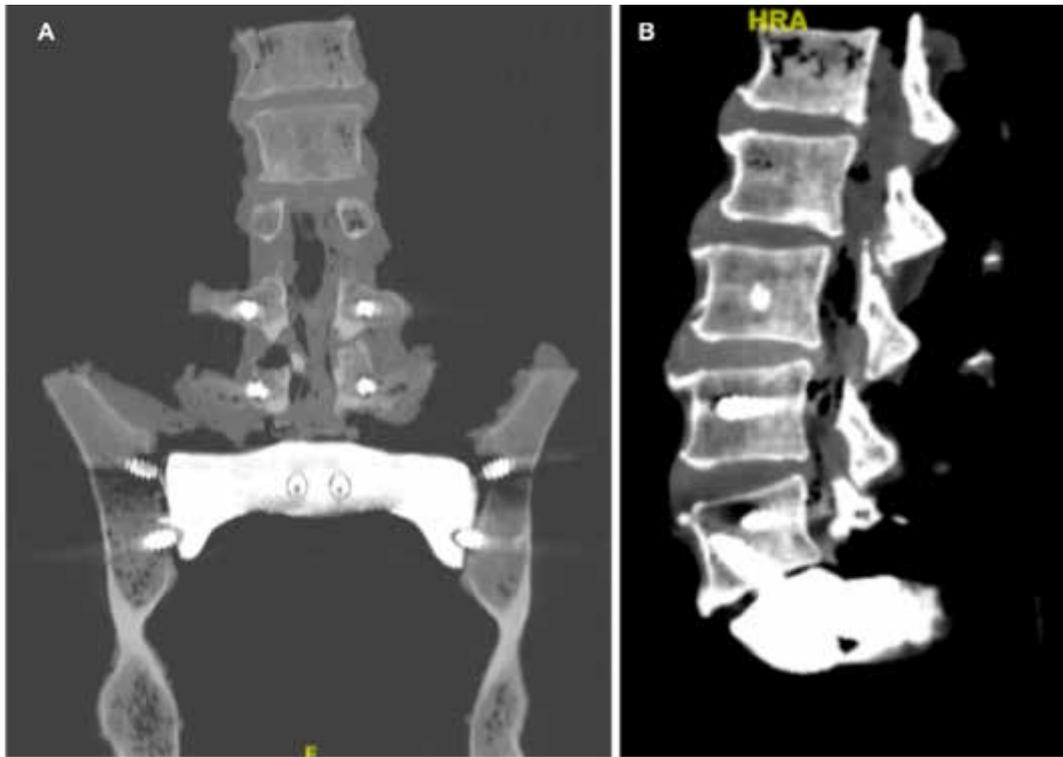
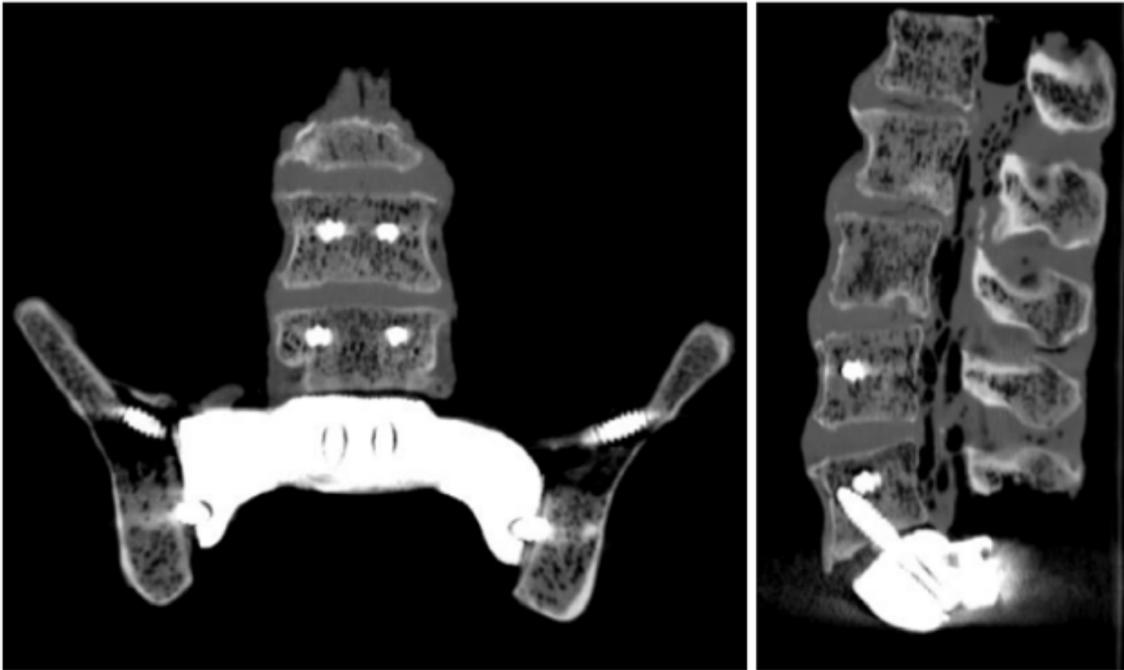


Ilustración 98. Imágenes de TC del Modelo 5 tras su implantación en cadáver antes del ensayo de fatiga. (A) Plano coronal. (B) Plano sagital.



Ilustración 99. Radiografía simple del Modelo 5 tras el ensayo de fatiga. (A) Plano coronal. (B) Plano sagital.



*Ilustración 100. Imágenes de TC del Modelo 5 tras el ensayo de fatiga. (A) Plano coronal. (B) Plano sagital.*



# DISCUSIÓN



## **5. DISCUSIÓN**

### **5.1. ESTUDIO CLÍNICO**

#### **5.1.1. RESULTADOS QUIRÚRGICOS: COMPLICACIONES**

##### **5.1.1.1. TASA Y TIPO DE COMPLICACIONES**

En el presente estudio las complicaciones se presentaron en el 100% de los pacientes en algún momento durante seguimiento. Durante los 6 primeros meses posoperatorios las complicaciones mayores más frecuentes fueron los problemas de herida y de los 6 primeros meses a los 2 años, el fallo del material de osteosíntesis. No obstante, queremos destacar que al ser el presente estudio retrospectivo y al no existir un método de registro sistemático de las complicaciones, habría que considerar que seguramente estamos omitiendo algún tipo de efecto adverso o alguna complicación que pudiera ser clínicamente poco relevante. Este hecho fue valorado en el estudio de Street et al. (372) sobre la morbilidad y mortalidad en cirugía mayor de columna vertebral, en el que objetivaron una infraestimación de la morbilidad de la cirugía. Coincidiendo con ellos consideramos que son necesarios registros sistemáticos y estudios prospectivos de muestras de grandes tamaños para poder obtener esta información de forma fidedigna y completa e informar exhaustivamente al paciente.

En el presente estudio se objetivó la relación entre la presencia de complicaciones mayores y una mayor estancia intrahospitalaria pero no en Semicríticos ni en UCI. Esto se debe a que las reintervenciones durante el primer mes posoperatorio no precisaron estancia en UCI o Semicríticos. Todo ello puede producir un aumento sustancial de la estancia hospitalaria y el coste sanitario respecto a otros procedimientos quirúrgicos (291).

##### **5.1.1.2. COMPLICACIONES MENORES**

La infección de orina fue la complicación menor posoperatoria más frecuente sobre todo en los 6 primeros meses, seguramente debido a la alta repercusión de la cirugía sobre la función vesical. Esto coincide con lo observado por el estudio de Verlaan et al. (287). En general, la infección de orina presenta repercusiones leves, sin importantes costes ni aumento de la estancia hospitalaria. Sin embargo, a veces, como en uno de nuestros casos (caso 14), puede ser una fuente de posibles complicaciones más importantes, produciendo una bacteriemia, infección de herida quirúrgica e incluso un shock séptico.

Tras el año de la intervención la complicación más frecuente es la infección de orina de repetición, seguramente por el estado de la función vesical. No obstante, creemos que la incidencia real de infecciones de orina de repetición es mayor que la reportada.

##### **5.1.1.3. COMPLICACIONES MAYORES**

Los problemas de herida (infección y dehiscencia) fueron las principales complicaciones mayores durante los 6 primeros meses posoperatorios, con un 72% y un 66,7% respectivamente. Son cifras muy parecidas a las publicadas previamente que estimaron una incidencia de complicaciones de herida de entre un 25%-75% (19), (22), (239), (287), (303), (304), (306), sin precisar su evolución temporal en la mayoría de estudios. Esta complicación explica las altas tasas de reintervenciones durante los 6 primeros meses, que se debieron sobre todo a desbridamientos quirúrgicos, en general repetidos. En nuestro caso, durante ese tiempo la mayoría de pacientes no precisaron reconstrucción de tejidos blandos por cirujanos plásticos, a diferencia de otras series.

En la cirugía de columna tumoral en general se ha reportado una incidencia de infección de herida quirúrgica del 0,9% -38% (373), observando mayor frecuencia en la localización sacra. Esto se ha atribuido a la agresividad de la sacrectomía, que supone un gran número de factores que se asocian a un aumento del riesgo de infección como la pérdida de sangre importante (> 2 l), las transfusiones múltiples, la resección sustancial de tejidos blandos, los abordajes intraabdominales, el

número de participantes en la cirugía, la disfunción vesical e intestinal, el sangrado intraoperatorio, la instrumentación, la reconstrucción de los tejidos blandos, etc. (289), (291).

Algunos autores recomiendan el uso de un colgajo VRAM de rutina como medida para disminuir el riesgo de complicación de herida quirúrgica (19). Sin embargo, otros han asociado las reconstrucciones complejas de tejidos blandos con un aumento del riesgo de infección (289). Nosotros no poseemos ningún paciente en el que se haya empleado este colgajo. No obstante, consideramos que estas reconstrucciones complejas estarían indicadas en grandes defectos resultantes de una resección amplia de tejidos blandos por sospecha de contaminación, en las que se crearían grandes espacios muertos.

#### **5.1.1.4. REINTERVENCIONES**

En el presente estudio se objetivó un descenso significativo de pacientes reintervenidos, sobre todo entre el primer mes y los primeros 6 meses posoperatorios con un 61,11% y un 33,3% respectivamente. No obstante, no se ha tenido en cuenta el número de cirugías realizadas para revertir colostomías temporales ni aquellas empleadas para solventar un problema urológico. Esta tendencia concuerda con la del estudio de Verlaan et al. (287), en el que objetivaron un descenso del número de intervenciones entre el primer y el segundo año posoperatorios. No obstante, ellos no realizaron la diferenciación entre los 30 meses y los 6 meses posoperatorios.

En el presente estudio se observó que en los primeros 6 meses el mayor número de cirugías se debieron a problemas de herida y posteriormente se debieron a fallos en la reconstrucción. Esta tendencia también fue observada por Verlaan et al. (287), sin embargo, destaca en este estudio el alto número de traqueostomías realizadas en el primer año por estancias prolongadas en UCI (un 25%, 4 de 16 pacientes) sin dar ninguna justificación a este tipo de hecho.

#### **5.1.1.5. SANGRADO INTRAOPERATORIO**

En el presente estudio se observó una pérdida de sangre intraoperatoria muy parecida a la publicada en el único trabajo que ha valorado los factores de riesgo de sangrado en la cirugía de resección sacra (incluyendo las en bloque y las por desmembramiento) (292) ( $2922,43 \pm 1844,93$  cc). En el presente estudio, se objetivó relación entre un sangrado excesivo, considerándolo como el mayor o igual a 2900 cc, con el abordaje posterior y un tiempo quirúrgico prolongado ( $\geq 1200$  min). No obstante, el tamaño de la muestra no permitió realizar un análisis multivariante para identificar factores independientes de sangrado a diferencia del de Tang et al. (292), que identificaron como factores de riesgo independientes la vascularización excesiva del tumor, la localización del tumor, un volumen  $> 300$  cm<sup>3</sup> y el abordaje posterior.

Concordando también con el estudio de Tang et al. (292) se objetivó que el sangrado abundante incrementó la estancia hospitalaria pero no el número de complicaciones mayores. Por ello, consideramos que es muy importante controlar el sangrado intraoperatorio y acortar los tiempos quirúrgicos. Los abordajes posteriores solos en la sacrectomía presentan un mayor sangrado por el menor control de los vasos, pero consideramos que, en casos seleccionados, con el aumento de la curva de aprendizaje de este procedimiento sería posible disminuir el sangrado.

Dada la escasa información que existe sobre esta complicación consideramos que son necesarios más estudios sobre el sangrado intraoperatorio en las sacrectomías en bloque.

#### **5.1.2. RESULTADOS SOBRE EL DOLOR**

El dolor tras la sacrectomía es un resultado poco evaluado. Solo encontramos un artículo que lo analice como objetivo principal (333).

En el presente estudio se observó un descenso de los valores de EVA al mes de la cirugía que fue estadísticamente significativo, sin modificarse posteriormente de forma significativa. Este factor no ha sido evaluado en ningún estudio publicado hasta el momento.

El nivel de la sacrectomía, valorado con el nivel superior de la osteotomía (por encima de S2 y a nivel y por debajo de S2) no se asoció con los valores de EVA en ningún punto del seguimiento. Sin embargo, sí que existía un EVA mayor a los 6 meses en los pacientes que habían recibido reconstrucción espinopélvica, no encontrándose diferencias en el resto del seguimiento. Creemos que esta diferencia se debe a que la mayoría de reconstrucciones instrumentadas fallan durante los primeros 6 meses posoperatorios asociándose con un mayor EVA. No obstante, se precisa de estudios de mayor tamaño y bien diseñados para demostrar su efecto sobre el EVA.

En cuanto al tipo de dolor en el presente estudio, al año el 55,6% de pacientes presentaron dolor axial y neurogénico, sin observar relación con las clasificaciones quirúrgicas sacras. Esto concuerda con los hallazgos de Phimolsarnti et al. (333) que observaron un 58,3% (11 de 21 casos) de dolor neurogénico sin relacionarse con los niveles de resección. No obstante, los dos estudios presentan importantes limitaciones sobre todo en cuanto al tamaño de la muestra (18 del presente estudio y 21 en el de Phimolsarnti et al. (333)).

En el presente estudio tampoco se halló relación entre el tipo de dolor y la realización de la reconstrucción espinopélvica. No obstante, creemos que por el tipo y tamaño de muestra sería necesario realizar estudios con mayor número de individuos seleccionados para poder detectar diferencias del uso de la reconstrucción espinopélvica en sacrectomías totales y hemisacrectomías.

### 5.1.3. RESULTADOS FUNCIONALES

#### 5.1.3.1. FUNCIÓN MOTORA

##### 5.1.3.1.1. EVOLUCIÓN DE LA FUNCIÓN MOTORA

La sacrectomía en bloque no supuso un deterioro de la función motora a largo plazo.

En el presente estudio no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre la función motora preoperatoria y la de 1 año posoperatorio. Esto contrasta con el estudio de Moran et al. (328). Seguramente se deba a que en el presente estudio solo existían 2 casos de alteración de la función motora preoperatoria, siendo el tamaño de muestra insuficiente para llegar a una conclusión correcta.

En su evolución se objetivó un empeoramiento de la función motora en el primer mes, que fue mejorando significativamente hasta los 6 meses tras la cirugía manteniéndose sin cambios significativos después. Esto contrasta con el estudio de Moran et al. (328), en el que reportaron un deterioro de la función hasta los 3 meses y posteriormente presentaron una mejoría sin existir cambios significativos (con un seguimiento de 12 meses). Esta diferencia se debe a que en nuestro caso no se pudo registrar el seguimiento a los 3 meses por no poseer esos datos en la mayoría de los pacientes y a que el tamaño de muestra es 4 veces menor que el de Moran et al. (328) (18 vs. 73 pacientes) de forma que ellos sí que pudieron realizar pruebas paramétricas en el análisis estadístico.

##### 5.1.3.1.2. INFLUENCIA DE LAS RAÍCES SOBRE LA FUNCIÓN MOTORA

La función motora normal a largo plazo depende de la indemnidad de las raíces S1. En el presente estudio el 84,6% de los casos en los que se conservó como mínimo las dos raíces S1 presentaron una función motora normal al año de la cirugía en comparación con el 0% en el grupo de pacientes en las que S1 fueron amputadas ( $p = 0,006$ ). Esto confirma la importancia de la conservación de la raíz S1 para mantener una función motora normal. Zoccali et al. (316) en una revisión sistemática sobre 244 casos, en la que emplearon la misma escala de valoración que en el presente estudio, publicaron una función motora normal en un 56,2 % (9 de 16 casos) en pacientes que solo conservaban de forma unilateral o bilateral las raíces de S1, un 94,1% (45 de 48 casos) de los que conservaban de forma bilateral las raíces S2, 100% de S3 y de S4. El porcentaje de motora normal del presente estudio se asemeja más al publicado por Guo et al. (319), que objetivaron que los pacientes en los que se conservaban ambas raíces S1 presentaban un 76% (29 de 38 pacientes) de función motora normal, sin

diferencias con los pacientes que conservaban solo una raíz S1 intacta, 50% (6 de 12 casos). De esta forma, coincidimos con el resto de estudios en la importancia de la preservación de las raíces S1 en la deambulación (82), (316), (319), (374).

En la mayoría de los casos la preservación de las raíces lumbares es posible, existiendo pocos casos publicados de amputación de L5 y/o L4, limitando la valoración de la importancia de dichas raíces. En el presente estudio solo existe un caso de amputación de raíz lumbar (caso 12); pero no presentó una función motora normal, precisando de tutores externos para la deambulación al año, por lo que no podemos establecer ninguna conclusión al respecto. No obstante, la revisión de Zoccali et al. (316) mostró un 74,4% de problemas mayores en la deambulación, resultando muy invalidante.

#### 5.1.3.1.3. RELACIÓN DE LA FUNCIÓN MOTORA ENTRE RESECCIÓN Y LAS CLASIFICACIONES QUIRÚRGICAS, LA RESECCIÓN DE LA ARTICULACION SACROILÍACA, MÚSCULOS GLÚTEOS Y PIRIFORMES Y RECONSTRUCCIÓN ESPINOPÉLVICA

En el presente estudio se objetivó una relación lineal con el nivel de resección según la clasificación quirúrgica de Fourney et al. (82), que tiene como referencia la amputación de las raíces nerviosas, manteniendo una relación lineal con ella, igual que en el estudio de Moran et al. (328), de forma que se producirá una mayor alteración de la función motora con resecciones sacras más altas. No se halló relación con la clasificación de Li et al. (199) ni la de Zhang et al. (202), basadas en el nivel de resección ósea. Por ello, afirmamos que la función motora depende del nivel de la amputación de las raíces y no de la resección ósea y que la clasificación de Fourney et al. (82) sería la más adecuada para predecir las repercusiones funcionales motoras.

Algunos autores han afirmado la relación de la función motora con la resección de la articulación sacroilíaca, la musculatura periférica al sacro y la reconstrucción espinopélvica basándose en su experiencia personal, sin existir un estudio bien diseñado publicado al respecto. En el presente estudio no se halló diferencia entre la afectación de la musculatura periférica y la función motora. No obstante, solo existen 2 pacientes en los que se realizó una resección parcial de los glúteos y la mayoría de sujetos fueron sometidos a una resección de los músculos piriformes, por lo que no se ha podido realizar un análisis estadístico individualizado. Tampoco se halló relación con la resección de la articulación sacroilíaca ni con la realización de la reconstrucción de la estabilidad espinopélvica. Sin embargo, no se ha podido evaluar el efecto de la reconstrucción de la estabilidad espinopélvica sobre la función motora pues no se poseía ningún grupo similar para comparar pues se realizó la reconstrucción espinopélvica en todos los pacientes sometidos a una sacrectomía total o a una hemisacrectomía, según la clasificación de Fourney et al. (82), no existiendo ningún paciente en el que no se realizara la reconstrucción estando indicada.

### 5.1.3.2. FUNCIÓN VESICAL E INTESTINAL

#### 5.1.3.2.1. EVOLUCIÓN

La sacrectomía en bloque supone un deterioro de la función vesical pero no de la intestinal a largo plazo. En el presente estudio no se hallaron diferencias entre la función vesical normal preoperatoria y al año (72% y 11,1% respectivamente,  $p = 0,655$ ) pero sí en la función intestinal (77,8% y 23,4%, respectivamente,  $p = 0,004$ ). Esto contrasta con el estudio de Moran et al. (328) en el que encontraron diferencias tanto en la función vesical como en la intestinal. Este hecho puede deberse al tamaño de la muestra y a que en el presente estudio la mayoría de resecciones fueron bajas, 11,1%, respecto al 31,5% de Moran et al. (328).

En cuanto a la evolución de la función vesical, el presente estudio mostró un deterioro tras la cirugía que se mantuvo estable entre el mes y los 6 meses posoperatorios, presentando posteriormente una mejoría hasta el año, alcanzando entonces su nivel basal. Esto contrasta con el estudio de Moran et

al. (328) en el que observaron que se alcanzaba el nivel basal de la función vesical a los 3 meses. Esta diferencia también puede deberse al tamaño de la muestra y al tipo de resecciones sacras realizadas.

En cuanto a la función intestinal, en el presente estudio se objetivó un deterioro tras la cirugía, que fue mejorando a partir del primer mes posoperatorio hasta alcanzar su nivel basal al año de la cirugía. Esto difiere de los resultados del estudio de Moran et al. (328) en el que no se produjo ningún cambio significativo de la función intestinal tras la cirugía. Destaca que no mencionen el uso de la colostomía en el procedimiento. En el presente estudio se empleó de forma temporal en el 41,2% de los pacientes como método de protección del intestino y para mejorar la curación de la herida, por eso creemos que el deterioro de la función intestinal que se produjo tras la cirugía no es realmente valorable, cobrando mucho más valor el estado al año, cuando la colostomía ya había sido revertida.

No existen estudios que aclaren las indicaciones de la colostomía en la sacrectomía por un tumor primario. Cuando existe infiltración del recto o cuando su disección supone un peligro de violación del tumor, por no existir un plano definido entre ambos, sí que está indicada una colostomía permanente para poder reseca la pieza con el recto por poner en peligro los resultados oncológicos del procedimiento. Algún autor muestra una tendencia, no demostrada estadísticamente, a indicarla en resecciones superiores a S3 o cuando se prevea una disfunción intestinal grave (330), (375). No obstante, estas observaciones parecen ser más fruto de la experiencia personal, sin estar apoyadas en estudios bien diseñados. En el presente estudio la colostomía se empleó en un 66,7% de los casos, en el 85,7% de forma temporal, pero no se relacionó ni con el nivel de las raíces salvadas, ni con el nivel de osteotomía, ni con la clasificación quirúrgica. Seguramente, este uso amplio de la colostomía en nuestra muestra se deba a la topografía de los tumores, la mayoría proximales al cuerpo de S3. En vista de los resultados creemos que son necesarios estudios que ayuden al cirujano a decidir cuándo debe plantearse la realización de una colostomía en estos pacientes.

#### 5.1.3.2.2. INFLUENCIA DE LAS RAÍCES SOBRE LA FUNCIÓN VESICAL E INTESTINAL

En el presente estudio al comparar la función vesical normal al año en los grupos en los que se salvaron las raíces S1 y S2 respecto a los que no, no se observaron diferencias estadísticamente significativas; pero sí que se presentaron en la función intestinal normal al año cuando se salvaron las raíces S2. No obstante, cabe destacar una importante limitación en este estudio: solo cuenta con 2 casos en los que las raíces S3 no fueron amputadas limitando la evaluación de su efecto en la función vesical e intestinal.

La función vesical e intestinal se ha atribuido a la integridad de las raíces S3, recomendando la preservación como mínimo de una de ellas para mantenerlas (311), (319). No obstante, Zoccali et al. (316), en su revisión sistemática, destacaron la importancia de las raíces S2 ya que cuando estas eran amputadas ningún paciente mantenía una función vesical e intestinal normal y cuando las mantenían su porcentaje aumentaba al 39,4% y 50% respectivamente y cuando además mantenía S3 este porcentaje aumentaba al 83,3% y 94% respectivamente. De esta forma, afirmaron que la preservación de las raíces S3 era muy importante para el mantenimiento de la función vesical e intestinal en estos pacientes (316).

En el presente estudio no existe ningún caso de amputación unilateral de las raíces sacras, por lo que no hemos evaluado su efecto. Algunos autores sostienen que su amputación unilateral no afecta globalmente a la función vesical e intestinal (213), (315).

### 5.1.3.2.3. RELACIÓN ENTRE LA FUNCIÓN VESICAL E INTESTINAL Y LAS CLASIFICACIONES QUIRÚRGICAS, LA RESECCIÓN DE LA ARTICULACION SACROILÍACA, MÚSCULOS GLÚTEOS Y PIRIFORMES Y RECONSTRUCCIÓN ESPINOPÉLVICA

Se objetivó una relación lineal entre la clasificación quirúrgica de Fourny et al. (82) y la función vesical e intestinal, igual que la función motora, pero no con las clasificaciones de Li et al. (199) y de Zhang et al. (202), basadas en el nivel de resección ósea, concordando con el estudio de Moran et al. (328).

No se halló relación entre la resección de musculatura periférica, la resección de la articulación sacroilíaca y la reconstrucción espinopélvica con la función vesical e intestinal. Por ello, afirmamos que la función vesical e intestinal depende principalmente del nivel de amputación de las raíces. No obstante, coincidiendo con Zoccali et al. (316) creemos que no se pueden atribuir todos los resultados de la función neurológica a la amputación de determinadas raíces pues claramente debe influir el estado neurológico previo, las anastomosis variables entre raíces y complicaciones quirúrgicas como lesiones del suelo pélvico, la motivación personal durante la rehabilitación (316), por lo que consideramos necesarios estudios que analicen estos factores.

### 5.1.3.3. FUNCIÓN SEXUAL

En el presente estudio no se obtuvieron datos suficientes para valorar la función sexual. Existe muy poca bibliografía al respecto. Hasta ahora lo publicado parece indicar que la resección de las raíces S2 hacia abajo se asociaría siempre a una alteración completa de la función sexual por lesión directa del reflejo neurológico necesario para la erección en hombres, y la pérdida de sensibilidad en el área perineal (314), (330). También se ha valorado que la amputación de S3 hacia abajo causa una pérdida intermedia de la función y que cuando se respetan las raíces S3 se produce una asociación de la función normal (312), (330), (331). No obstante, son series de casos pequeños con baja potencia estadística. Igualmente, la incidencia de patología que precise de este tipo de cirugía es muy baja. Son necesarios estudios que evalúen este aspecto.

### 5.1.3.4. SENSIBILIDAD

No se pudo realizar un análisis estadístico de la sensibilidad. Existen pocos estudios con series de casos pequeñas sobre la misma. Por ello, consideramos que son necesarios estudios que puedan analizar este aspecto y sus repercusiones.

## 5.1.4. RESULTADOS ONCOLÓGICOS

### 5.1.4.1. RECURRENCIA Y METÁSTASIS

#### 5.1.4.1.1. DESCRIPTIVO

En el grupo cordoma se produjo un 31,25% de recurrencia local y un 25% de metástasis tras la sacrectomía en bloque. Estas cifras coinciden con las publicadas previamente: de recurrencia local (30,8%-58,6%) y de metástasis (28,6%-33,8%) (ver Tabla 67). No obstante, se ha de valorar la heterogeneidad de los tiempos de seguimiento de las diferentes series, lo que limita la comparabilidad entre ellas.

#### 5.1.4.1.2. FACTORES RELACIONADOS CON LA RECURRENCIA Y LA METÁSTASIS DEL CORDOMA

En el presente estudio se halló que la recurrencia local y la metástasis se relacionaron con la obtención de márgenes intralesionales y la afectación de tejidos periféricos al sacro. No obstante, series anteriores han descrito la relación entre los márgenes quirúrgicos obtenidos en la cirugía inicial y el tratamiento quirúrgico intralesional previo como los principales factores pronóstico de la recurrencia local (18), (19), (239), (305), (307), (376).

A continuación, se analizan los factores que se han relacionado con la recurrencia y la metástasis del cordoma.

##### 5.1.4.1.2.1. CIRUGÍA INTRALESIONAL PREVIA

A pesar de que en el presente estudio no se ha hallado relación entre la cirugía intralesional previa y la recurrencia local del cordoma, es importante tener en cuenta este factor. Existen series más largas en las que se ha descrito un mayor riesgo de recurrencia local en pacientes con una cirugía intralesional previa (18), (239). En la serie de Bergh et al. (18) observaron una tasa de recurrencia de un 71% en pacientes con antecedente de cirugía intralesional vs. un 30% en los que no se había producido este evento. Park et al. (377) observaron la misma correlación, 86% vs. 14% respectivamente. En el presente estudio no se ha hallado esta relación debido, seguramente, al tamaño de la muestra y a la baja frecuencia del antecedente quirúrgico intralesional en el estudio. Los 3 pacientes que presentaron una cirugía previa están en el grupo cordoma, en 2 casos se obtuvieron márgenes intralesionales y en 2 casos presentaron recurrencia. Todos estos casos provinieron de otros centros con cirugías previas insuficientes.

A pesar de que no se han podido corroborar estos resultados en nuestra serie creemos que el hecho está suficiente fundamentado como para proponer centralizar esta patología en centros de referencia en los que se trate al paciente desde el principio para poder minimizar riesgos de cirugías insuficientes o procedimientos invasivos mal programados.

##### 5.1.4.1.2.2. MÁRGENES INADECUADOS

Las tasas de recurrencia local y de supervivencia, dependen de conseguir márgenes adecuados (no contaminados por tumor). Estudios previos han subrayado la importancia de la obtención de márgenes amplios libres de tumor (18), (239), (303), y los indican como los deseables para disminuir la tasa de recidiva local. Se han descrito tasas de recurrencia de entre un 70%-80% en caso de márgenes inadecuados (18), (19), (239). Estas cifras coinciden con las del presente estudio en las que se observa una tasa de recurrencia del 80% en los que presentan márgenes intralesionales respecto al 20% en los márgenes libres de tumor. En el del presente estudio se han dividido los márgenes en marginales e intralesionales considerando que no se obtiene ningún margen amplio por lo que no se ha podido realizar este análisis.

##### 5.1.4.1.2.3. NIVEL DE RESECCIÓN ALTO

En el presente estudio tampoco se halló relación entre la tasa de recurrencia y el nivel de resección. Esto contrasta con otras publicaciones como la de Cheng et al. (376) en la que, en una muestra de 23 pacientes, demostraron diferencias en las tasas de SLE entre la región lumbar, S1-S2 y S3-cóccix, concluyendo que la extensión proximal del tumor es un fuerte predictor de la recurrencia. Seguramente, en el presente estudio no se han hallado estas diferencias por la distribución de las sacrectomías, localizándose su mayoría por encima de S3, a diferencia del estudio de Cheng et al. (376) (lumbar-S2: 13 y S3-S5: 10). Otra posible explicación es que en el momento del diagnóstico ya existan lesiones satélites microscópicas que no fueron detectadas en la RM que haga que no existan diferencias entre los dos grupos.

#### 5.1.4.1.2.4. RECURRENCIA DEL CORDOMA Y AFECTACIÓN DE TEJIDOS PERIFÉRICOS

En el presente estudio se ha hallado relación entre la recurrencia local del cordoma y la afectación de los tejidos periféricos al sacro (músculos piriformes, glúteos, ligamentos sacrotuberoso y sacroespinoso y articulaciones sacroilíacas) en pacientes sin cirugía previa y con márgenes marginales. Estos resultados concuerdan con los ya publicados (305), (307), (378) en los que se ha relacionado su afectación con un mayor riesgo de recurrencia a pesar de obtener márgenes adecuados en la resección.

En el presente estudio un 69% de los pacientes con cordoma y afectación de los tejidos circundantes al sacro presentó una recidiva durante el seguimiento, valores muy similares a los publicados por Hanna et al. (305), 76%, y por Chen et al. (378), 69%.

En el presente estudio solo se encontraron 4 casos de afectación de la articulación sacroilíaca y, siempre acompañada de afectación muscular, por lo que no se pudo realizar un análisis de su impacto en la recurrencia ni en la metástasis de forma independiente pero algunos autores sí que la han relacionado con un mayor riesgo de metástasis y recurrencia (309). Algunos autores la consideran una barrera que previene la diseminación del tumor (305), (379) y relacionan su afectación con una importante. Kayani et al. (309) hallaron una mayor relación entre la afectación del glúteo mayor solo y el riesgo de metástasis y recurrencia local que la afectación del músculo piriforme y el glúteo mayor o los músculos piriformes solo.

Las posibles causas de estos hallazgos son varias. En primer lugar, coincidiendo con los estudios de Chen et al. (378) y Hanna et al. (305) consideramos que la invasión de tejidos musculares y ligamentosos y de la articulación sacroilíaca en el momento del diagnóstico indica que seguramente el tumor ya se encuentra en un estadio avanzado, y seguramente ya existen lesiones satélites microscópicas que no puedan ser detectadas en RM. Por ello, cabría valorar el uso de otros estudios complementarios como la PET-TC en este tipo de pacientes. El papel de la PET-TC en el diagnóstico y monitorización de la respuesta al tratamiento no ha sido bien estudiada. La mayoría de lo publicado son casos que describen el uso de la 18F-fluorodeoxiglucosa (18F-FDG), mostrando el cordoma un incremento de la captación de glucosa (380), (381). En este sentido, creemos necesarios estudios que muestren la utilidad de la PET-TC en la planificación de estos procedimientos. Otra posible explicación valorada por Hanna et al. (305) es que a pesar de que se hayan obtenido márgenes libres de tumor durante la cirugía sí que se haya producido una contaminación de tejidos sanos durante el procedimiento que no pueda ser detectado en el análisis histológico de la pieza. Por ello recomendamos una manipulación cuidadosa de los tejidos durante la sacrectomía.

Algunos autores han demostrado que la mayoría de recidivas de cordomas sacrococcígeos se producen a nivel posterior o pósterolateralmente (305), (307), (382), por lo que consideran que a nivel anterior la fascia presacra podría prevenir de la invasión por células tumorales. De esta forma, afirman que a nivel anterior y proximal se puede ser menos radical con la resección siendo tolerables márgenes marginales, pero sí que sería muy importante obtener márgenes muy amplios a nivel pósterolateral, incluso de 5 cm (382), para asegurar una baja incidencia de recurrencia. No obstante, nosotros consideramos que, aunque la resección de los músculos piriformes no representa una importante repercusión funcional, la resección de los músculos glúteos sí, actuando sobre la fijación de la pelvis durante la deambulación, y además supone una morbilidad muy importante por ello tendríamos que valorar mucho esta repercusión funcional y no creemos justificada su resección sin que estén afectados. No existe un estudio de cohortes en que se analice el efecto de la obtención de márgenes tan extensos a nivel posterior con otros menos extensos sobre la recurrencia, por ello no creemos justificada esta resección tan amplia.

En la experiencia de nuestro grupo de trabajo, y coincidiendo con otros autores, recomendamos la resección de los músculos piriformes para disminuir el riesgo de recidiva local pero no la de los glúteos sistemáticamente (211), (216).

#### 5.1.4.1.2.5. TAMAÑO DEL TUMOR

En el presente estudio un 20% de los tumores con un diámetro mayor a 10 cm sufrieron una recurrencia, sin presentar una relación significativa con ella. Esto coincide con en el estudio de Chen et al. (378), que tomaron como referencia el punto de corte del tamaño del tumor en 9,5 cm y en el presente estudio en 10 cm, correspondiéndose con la mediana de los tamaños de los mismos. Sin embargo, contrasta con otros estudios en los que se objetiva relación en el tamaño del tumor y la recurrencia (383), (384).

#### 5.1.4.1.2.6. DESDIFERENCIACIÓN DEL TUMOR

Un factor que no se ha podido analizar en este estudio es el grado de diferenciación del tumor. Esta es una limitación importante pues se ha publicado que los tumores más desdiferenciados son los que presentan mayor riesgo de recurrencia y de metástasis (309). Por ello consideramos que, aunque no hemos podido analizarlo, este factor es importante en la valoración del pronóstico del tumor y no se analiza en la mayoría de publicaciones.

#### 5.1.4.1.2.7. PROCEDIMIENTO DIAGNÓSTICO INVASIVO REALIZADO FUERA DEL CENTRO DONDE SE REALIZARÁ LA CIRUGÍA

En el presente estudio en el grupo de cordomas se realizaron 8 biopsias fuera del centro donde se intervinieron presentando un 37,5% de recurrencia local, sin hallar asociación estadística entre la aparición de la recurrencia y la realización de la biopsia fuera del centro donde se intervino. Esto contrasta con el estudio de Bergh et al. (18), que sí hallaron esta relación considerándolo un factor predictivo independiente en la recurrencia del cordoma. Creemos que uno de los factores que pueden hacer que no se haya encontrado relación es el hecho de que nosotros realizamos una resección amplia de la zona de biopsia de acuerdo con las imágenes de la misma que nos ayuden en la resección, pero no lo hemos podido demostrar estadísticamente.

En la serie de Bergh et al. (18) también destaca el amplio uso de la PAAF, 16 de los 28 casos de forma aislada y en 5 casos combinadas con otras técnicas más agresivas (biopsia incisional o trócar) en comparación con la del presente estudio en la que el 87,5% se realizó exclusivamente con trócar. Este hecho llama la atención pues no se recomienda el uso de la PAAF en el estudio de los tumores vertebrales por su bajo rendimiento diagnóstico (17). No obstante, Bergh et al. (18) consideran que un patólogo bien formado es capaz de realizar el diagnóstico con la muestra tomada con PAAF. Se desconoce si el tipo de biopsia se ha relacionado con la recurrencia del cordoma sacro.

A pesar de no haber encontrado una relación entre la recurrencia del tumor y la biopsia realizada fuera del centro donde se intervino coincidimos con Bergh et al. (18) en que es necesario realizar la biopsia en el mismo centro en el que se intervendrá para planificar la resección de la zona de toma de biopsia durante la cirugía, que disminuiría el riesgo de recurrencia local del mismo por posible contaminación.

#### 5.1.4.1.3. MÁRGENES

En el presente estudio se obtuvo un 66,7% de márgenes marginales y un 33,3% intralesionales, destacando la ausencia de márgenes amplios. Esto contrasta con algunos artículos en los que sí que se reportaron altos porcentajes de márgenes amplios (19), (239) (304). No obstante, existen otros estudios que tampoco describen su existencia (194). Una de las posibles explicaciones sería que los patólogos no describieran los márgenes amplios en la columna en nuestro centro, no obstante, en la columna móvil sí que describen márgenes amplios, descartando que este sea la explicación para nuestros resultados. La posible explicación a este hecho es que, en nuestra opinión, y coincidiendo con otros autores, consideramos que no es posible obtener márgenes amplios en el sacro sin comprometer estructuras sanas

necesarias para una evolución funcional óptima del paciente. De hecho, varios autores han descrito que no se obtiene una resección amplia de forma uniforme en el 35-75% de los cordomas sacros, sobre todo por su localización de anatómica, la necesidad de preservar las estructuras neurológicas y los grandes tamaños del tumor en el momento del diagnóstico (19), (303), (305), (306), (375), (382).

Al revisar las publicaciones al respecto la primera cuestión que nos planteamos es la falta de homogeneidad y consenso a la hora de definir los márgenes. De esta forma, algunos autores emplean el sistema clásico de Enneking (200) que considera amplio si existe tejido sano alrededor, marginal si el plano de resección se ha producido cerca de la pseudocápsula e intralesional si existe tejido patológico en los márgenes. Coincidiendo con otros autores, consideramos que en estudios retrospectivos y a nivel sacro es muy difícil que se cumplan criterios de márgenes amplios por lo que no tendríamos que seguir empleando esta terminología (199). De hecho, cada estudio da una definición diferente de los mismos márgenes o directamente no da ningún tipo de definición. Esto hace que el concepto de margen amplio a nivel sacro no sea comparable entre estudios. También se han empleado otras clasificaciones como la de R categorías definidas por la Union for International Cancer Control (UICC), donde R0 representa que no existe enfermedad macroscópica o microscópica residual del tumor, R1 que existe enfermedad microscópica en el margen y R2 que existe enfermedad macroscópica residual (304), (385). Quizá en el sacro tendría más sentido emplear esta clasificación para poder usar un mismo instrumento objetivo que la definición que se usa en la mayoría de estudios actuales.

En cuanto a la obtención de márgenes contaminados en el presente estudio, no se objetivó relación entre la obtención de márgenes quirúrgicos contaminados, vía de abordaje, nivel de resección ni el diámetro mayor del tumor medido en RM. Esto contrasta con otros estudios en los que sí que se ha hallado (19), (194).

Al analizar la relación entre los márgenes obtenidos y el abordaje anterior-posterior y posterior solo, se obtuvieron márgenes no contaminados en el 33,33% en cada uno de los abordajes. Esto contrasta con la serie de Fuchs et al. (19) en la que objetivaron un 81% de márgenes amplios en el abordaje anterior-posterior secuenciado (sacrectomías por encima de S3) y en un 18% en los en abordaje posterior solo (sacrectomías por a nivel por debajo de S3). Esta diferencia tan marcada fue atribuida por los autores a la propia curva de aprendizaje de la vía abordaje posterior solo. Posteriormente en una serie de 36 sacrectomías en bloque mediante abordaje posterior solo (sacrectomías a nivel o por encima del disco L5-S1, sin invasión del recto o vasos anteriores) no se obtuvo ningún margen amplio, solo marginales (94,44%) e intralesionales (5,6%) (194).

Las diferencias con este estudio se deben a la forma de considerar los márgenes, el tamaño de la muestra y el número bajo de sacrectomías medias y bajas en el presente estudio impidiendo la comparación entre grupos.

## **5.1.4.2. SUPERVIVENCIA**

### **5.1.4.2.1. TASAS DE SUPERVIVENCIA GLOBAL (SG), DE SUPERVIVENCIA LIBRE DE ENFERMEDAD (SLE) Y DE SUPERVIVENCIA LIBRE DE METÁSTASIS (SLM)**

En el cordoma sacro el tratamiento quirúrgico agresivo ha demostrado aumentar las tasas de SG a los 5 años del 50%-68% (329), (330), (386) hasta del 73%-91% (18), (19), (239), (304), (305), (306), (309), (387), (388) y a los 10 años del 26%-66% (19), (239), (304), (305), (306), (307), (329), (330), (374), (387), (388). A pesar del pequeño tamaño de muestra del presente estudio se observa cómo las tasas de SG estimadas a los 5 y a los 10 años, 83% y 55% respectivamente, son parecidas a las publicadas hasta el momento (ver Tabla 66). Una de las limitaciones de todos los estudios, incluidos el presente, es el tiempo de seguimiento pues la mayoría presenta una media menor a los 10 años. No obstante, Angelini et al. (304), en un estudio con una media de 10 años de seguimiento observaron como a los 15 años la SG fue del 44%, respecto al 91% a los 5 años y 66% a los 10 años. Este es un factor importante, pues se observa cómo en periodos de 5 años se produce una importante disminución de la supervivencia, por lo que serían necesarios estudios a largo plazo (más de 10 años) para valorar los resultados oncológicos de la cirugía de forma más precisa.

En nuestro caso solo 3 pacientes afectos de cordoma fueron sometidos a un tratamiento adyuvante (3 radioterapia y 1 imatinib), estando 2 fallecidos al final del seguimiento. Solo se indicó tratamiento adyuvante en caso de márgenes intralesionales. No obstante, existen autores que valoran el uso de tratamientos adyuvantes de forma rutinaria para incrementar la supervivencia en pacientes con cordoma, independientemente del resultado de los márgenes tras la resección del tumor, con el fin de mejorar el control local de la lesión (304). Actualmente, con el objetivo de minimizar el impacto de la amputación de raíces sacras (sobre todo de S1 a S3) sobre los resultados funcionales de los pacientes se plantea el uso de otras alternativas terapéuticas junto con cirugías menos agresivas en cordoma sacro (17), (304). Alternativas válidas serían la radioterapia (hadrones o protones de intensidad modulada) (22), (389), (390) o radioterapias fotón/protón (391). También se están estudiando fármacos como nilotinib, dasatinib, lapatinib, everolimus y otros (22), (392), y otras dianas terapéuticas como las tirosin quinazas y los reguladores de la transcripción y silenciadores de braquiuria (23). No obstante, no existen estudios suficientes que demuestren la eficacia de estas medidas.

Tras la sacrectomía en bloque se han reportado tasas de SLE a los 5 años del 59%-63% y a los 10 años del 46%-48% (19), (304), (377), (388) (ver Tabla 66). En el presente estudio los porcentajes son ligeramente mayores pero muy parecidos 76% a los 5 años y 51% a los 10 años.

Las tasas de SLM a los 5 años se han comunicado del 63%-72% y a los 10 años del 46%-58% (19), (304), (377), (388) (ver Tabla 66). En el presente estudio los porcentajes son ligeramente mayores pero muy parecidos, un 85% a los 5 años y un 57% a los 10 años.

No obstante, en la revisión bibliográfica encontramos que todavía existen pocos estudios que la valoren.

**Tabla 66. Resultados del presente estudio comparados con otros estudios que poseen mayor número de pacientes recogidos sometidos a resección sacra en bloque por cordoma. Se excluyeron aquellos que presentaban afectación de columna móvil.**

Referencias	n	Tipo de márgenes	RT	Seguimiento	Estimación 5 años			Estimación 10 años		
					SG	SLE	SLM	SG	SLE	SLM
York et al. (1999) (308)	27	RO/R1=15 R2=12	13 (48%)	43 (Mediana)	NP	NP	NP	NP	NP	NP
Fuchs et al. (2005) (19)	52	RO=21 R1/R2=31	0 (0%)	85 (Media)	74%	59%	63%	52%	46%	46%
Park et al. (2006) (377)	27	RO=16 R1/R2=5	27 (100%)*	106 (Media)	83%	61%	72%	63%	49%	58%
Schwab et al. (2009) (388)	42	RO=27 R1=8 R2=7	7	46 (Media)	59%	56%	NP	35%	NP	NP
Ruggirei et al (239)	56	RO=27 R1=11 R2=14	0	114 (Media)	97%	NP	NP	71%	NP	NP
Clarke et al. (2012) (194)	30	RO=0 R1=28 R2=2	10 (33%)	45 (Mediana)	67%	NP	NP	NP	NP	NP
Varga et al. (2015) (302)	167	RO/R1=129 R2=30	39 (23,4%)	38,4 (Media)	NP	NP	NP	NP	NP	NP

Referencias	n	Tipo de márgenes	RT	Seguimiento	Estimación 5 años			Estimación 10 años		
					SG	SLE	SLM	SG	SLE	SLM
Kayani et al. (2015) (309)	58	RO=28 R1=24 R2=6	36 (62%)	45,3 (Media)	62%	NP	NP	26%	NP	NP
Angenili et al. (2015) (304)	71	RO=55 R1=16	3 (4,2%)	120 (Media)	91%	63%	NP	66%	48%	NP
Ji et al. (2016) (374)	122	RO=77 R1/R2=38	18 (34%)	58,8 (Media)	81%	NP	NP	52%	NP	NP
Presente estudio	16	RO=11 R1/R2=5	3 (17,6%)	54 (Mediana)	80%	76%	85%	53%	51%	57%

RO= márgenes negativos, R1= afectación microscópica pero no enfermedad macroscópica, R2= afectación macroscópica, RT= radioterapia, NP = no publicado, SG: supervivencia global, SLE: supervivencia libre de enfermedad.

\* 6 pacientes no recibieron cirugía.

#### 5.1.4.2.2. FACTORES PRONÓSTICO DE SG Y SLE

En el presente estudio los factores que afectaron a la SG y a la SLE en el grupo cordoma fueron: el antecedente de una cirugía previa, la infiltración de tejidos circundantes, el tipo de margen obtenido en la cirugía, la recurrencia y la metástasis. Tenemos que destacar que estos datos derivan de un análisis univariante por las limitaciones del tamaño de la muestra.

La Tabla 67 muestra un resumen de la revisión bibliográfica de los factores pronósticos que afectan a SG y SLE del cordoma. Para la SG destacan la localización sacra alta, el tamaño del tumor, márgenes inadecuados, edad, resección marginal o intralesional y volumen del tumor. Para la SLE se encuentra la localización sacra alta, la resección subtotal, los procedimientos diagnósticos invasivos fuera del centro donde se interviene, los márgenes de la cirugía, la cirugía intralesional previa, la función motora preoperatoria deteriorada y el grado de necrosis. Sin embargo, observamos cómo existen diferencias en cuanto a los distintos estudios. El problema es que los resultados de estos estudios son limitados al presentar tamaños de muestra pequeños, los diseños de los estudios y la falta de seguimiento a largo plazo, siendo el de mayor seguimiento el de Angelini et al. (304), con una mediana de 9 años.

A continuación, se analizan los diferentes factores descritos.

##### 5.1.4.2.2.1. MÁRGENES INADECUADOS

En el presente estudio los márgenes quirúrgicos inadecuados sí que se asociaron a la SG y SLE. Esto concuerda con los estudios previos importantes (239), (309), considerándolo como el mayor factor predictor de ambas.

##### 5.1.4.2.2.2. CIRUGÍA PREVIA

En el presente estudio se hallaron diferencias en las medianas de la SG y la SLE en los dos grupos ante la presencia de cirugía previa con márgenes inadecuados en el grupo cordoma. Esto concuerda con los resultados de estudios previos en el cordoma (239), (304), (308),

Es importante recordar que el concepto de margen inadecuado en un tratamiento como la resección en bloque es completamente diferente del margen de un procedimiento como la citorreducción quirúrgica (*debulking*) o procedimientos de drenaje o curetaje intralesional, por lo que existen diferentes tipos de cirugías previas con diferentes grados de agresividad que en los estudios son tratadas como el mismo tipo de cirugía para aumentar la potencia estadística. Sería necesario evaluar cuál es el efecto de estos procedimientos de diferente agresividad y de diferentes grados de posibilidad de contaminación de los tejidos y su efecto sobre la supervivencia y recurrencia.

#### 5.1.4.2.2.3. NIVEL DE SACRECTOMÍA

En el presente estudio no se ha encontrado relación entre el nivel de la sacrectomía y la SG ni la SLE en el grupo cordoma, considerando la resección por debajo de S2 y a nivel o por encima de S2. La relación entre SLE y SG y el nivel de la sacrectomía solo se encontró en el estudio de Cheng et al. (376). Analizándolo observamos como presenta un tamaño de muestra de 23 pacientes, con 19 sacros. El hecho de que esta relación no se ha encontrado en otros estudios nos hace cuestionarla.

#### 5.1.4.2.2.4. TAMAÑO DEL TUMOR

Algunas series de casos han mostrado una relación inversa entre el tamaño del tumor y la supervivencia (19), (303), (306), (309), no obstante, esta diferencia no se observa en todas (19).

En nuestro caso no hemos encontrado diferencias entre la SG ni en la SLE tomando como referencia la mediana del diámetro mayor del tumor (10 cm). No obstante, observamos importantes diferencias en cuanto al tamaño del tumor en las distintas series. Hulen et al. tomó 15,2 cm (306), Baratti et al. (303) 12 cm, Kayani et al. (309) 8 cm. Por ello, no se ha objetivado un punto de corte común a partir del cual exista menor SG y SLE.

#### 5.1.4.2.2.5. PROCEDIMIENTO DIAGNÓSTICO INVASIVO

El estudio de Bergh et al. (18) halló relación entre el procedimiento diagnóstico invasivo realizado fuera del centro y la SLE. No obstante, nosotros no hemos hallado esta diferencia.

#### 5.1.4.2.2.6. EDAD

En el presente estudio no se encontró relación entre la edad en el momento de la cirugía y la SG y SLE. Esta relación sí que fue hallada en los estudios de Fuchs et al. (19) y en el de Varga et al. (256). Este último estudio encuentra como factor pronóstico independiente de la SG en una cohorte de 167 pacientes (la mayor publicada).

#### 5.1.4.2.2.7. ESTADO PREVIO DEL PACIENTE

El estado previo del paciente, en cuanto a morbilidad y riesgo quirúrgico, no ha sido analizado en la mayoría de estudios. En el presente estudio no se han encontraron diferencias entre grupos índice de Karnofsky < 80 y ≥ 80, índice ASA 1-2/3-5 e índice de comorbilidad de Charlson 0-2/3-6. No hemos hallado ningún estudio donde estos factores hayan sido relacionados con la supervivencia.

#### 5.1.4.2.2.8. RADIOTERAPIA

No encontramos diferencias entre la SG y la SLE con el uso de la radioterapia posoperatoria. No obstante, nosotros solo hemos empleado la radioterapia adyuvante en caso de presentar márgenes contaminados de tumor, como recomiendan algunos grupos. En el estudio de Stacchiotti et al. (17) recomiendan la radioterapia en el cordoma sacro en caso de márgenes con enfermedad microscópica tras la resección.

Existen estudios que indican que la radioterapia adyuvante podría aumentar el control local de la lesión y aumentar la supervivencia, a pesar de que el cordoma es relativamente resistente a la radioterapia como en otros estudios se recomienda (17).

**Tabla 67. Revisión bibliográfica de los factores pronóstico para la SG y SLE, incluyendo los resultados del presente estudio.**

Referencias	n	Seguimiento (meses)	Recurrencia	Metástasis	Muerte	Factores pronósticos
Cheng et al. (1999) (376)	19 (23)	18-288	13 (56%)		11	SLE: localización sacra alta, edad SG: localización sacra alta
York et al. (1999) (308)	27	4-408	18 (66,7%)		15	SLE: resección subtotal, no radioterapia
Bergh et al. (2000) (18)	30 (39)	12-276	12 (30,8%)		8	SLE: procedimiento diagnóstico invasivo fuera del centro, márgenes inadecuados y necrosis del tumor SG: tamaño del tumor y márgenes inadecuados
Fuchs et al. (2005) (19)	52	25-276	23 (44,2%)		19	SLE: márgenes de la cirugía SG: edad, resección marginal o intralesional
Schwab et al. (2009) (388)	42	1-169	17 (40,5%)	13 (31%)	11	SLE: Recurrencia local, metástasis, resección anterior, alto grado
Ruggirei et al. (2010) (239)	56	3-28	24 (42,9%)	16 (28,6%)	19	SLE: márgenes quirúrgicos, cirugía intralesional previa
Varga et al. (2015) (302)	167	0-194	57 (34,1%)		50	SG: Edad, afectación de la función motora.
Kayani et al. (2015) (309)	58	2-144	34 (58,6%)	19 (32,8%)	NP	SLE: márgenes quirúrgicos, tamaño del tumor, infiltración de articulación sacroilíaca, infiltración de la musculatura.
Angelini et al. (2015) (304)	71	24-384	33 (46,5%)	24 (33,8%)		SLE: volumen del tumor, cirugía intralesional previa.
Presente estudio	16	6-180	5 (31,25%)	4 (25%)	5	NP

NP = no publicado; SG: supervivencia global; SLE: supervivencia libre de enfermedad; SIM= supervivencia libre de metástasis

### 5.1.5. LIMITACIONES DEL ESTUDIO CLÍNICO

Las limitaciones del estudio clínico fueron las siguientes:

1. El hecho de que el estudio sea retrospectivo y no randomizado hace que esté sujeto a sesgos de memoria y de selección. Esto también ha hecho que haya información a la que no se ha podido acceder como los informes de anatomía patológica de todos los pacientes por la infraestructura del centro. Uno de los principales factores pronóstico en la evolución de los tumores es su grado de desdiferenciación y sus características microscópicas, factores que no se han podido valorar.
2. El hecho de que sea un estudio retrospectivo sin grupos control, como p. ej. de sacrectomía en bloque que necesitarían reconstrucción instrumentada, hace que sea imposible analizar el efecto en el resultado de determinadas variables.
3. El hecho de que abarque un período de más de 10 años hace que hayan cambiado los equipos quirúrgicos, las herramientas procedimientos, protocolos preparatorios pudiendo introducir variables confusoras no controlables.
4. El tamaño pequeño de la muestra y su metodología retrospectiva hace que tenga menos capacidad para detectar diferencias entre grupos, aunque existan (error tipo II).

## 5.2. ESTUDIO BIOMECÁNICO

### 5.2.1. ESTABILIDAD LUMBOPÉLVICA

La pieza sustitutiva de sacro (Modelos 5 y 6) presenta los menores desplazamientos verticales de L5 descritos en los estudios biomecánicos publicados hasta el momento (Tabla 68).

En el presente estudio los Modelos 1 y 2 presentaron mayores desplazamientos (5,08 mm y 5,15 mm respectivamente), en comparación con los modelos que contienen un soporte de la columna anterior con dos tornillos en el soma de L5 (Modelos 3 y 4, 1,69 mm y 1,7 mm, respectivamente) y los modelos con la pieza sustitutiva sacra (Modelos 5 y 6, 0,13 mm en ambos). De esta forma, se reafirma la importancia del soporte anterior de la columna vertebral en la reconstrucción de la estabilidad lumbopélvica objetivada en estudios previos (237), (269), (273). Con la pieza sustitutiva sacra se obtuvo la mayor reducción del desplazamiento vertical de L5 descrita, suponiendo una mayor rigidez del sistema, sin observar diferencias al añadir una barra transilíaca (ver Tabla 68).

Al comparar el sistema de la pieza sustitutiva sacra (Modelos 5 y 6) con modelos previamente descritos de los que se poseen datos de estudios biomecánicos con MEF (Tabla 68), se observa que presentan el menor desplazamiento vertical de L5 y la mayor rigidez. En la Tabla 68 también se puede valorar cómo el sistema de menor rigidez es el FRR, que se trata de un sistema de fijación espinopélvica, sin apoyo anterior de la columna lumbar ni fijación en ambos ilíacos (368). TFR y MGR tampoco poseen apoyo anterior pero no se disponen de datos con los que poder comparar. En el presente estudio los Modelos 1 y 2, muestran medidas de desplazamiento más parecidas a las de FRR, pero sin alcanzar esos valores tan altos (7,2 mm) (368). Seguramente esa reducción del desplazamiento vertical, respecto a FRR, se deba a la unión entre dos barras, que se encargaría de distribuir las tensiones en la parte posterior.

Los Modelos 3 y 4 solo se diferencian morfológicamente de los 1 y 2 por el soporte anterior que proporcionan los tornillos fijados al cuerpo de L5. Esta técnica fue descrita por primera vez por Kawahara et al. (238) en el sistema de reconstrucción SRR, en el que los tornillos del soma de L5 se unían a una barra transilíaca. Posteriormente, se mantuvo en el sistema de reconstrucción de ICR (269), (368), que contiene además 2 injertos de peroné de soporte del platillo de L5 a pelvis, siendo el sistema que proporcionó más estabilidad en el estudio de Cheng et al. (269), más que el mismo modelo, pero sin barra transilíaca y tornillos en soma de L5 (BFFR).

En la revisión de la bibliografía los modelos que han demostrado proporcionar una mayor estabilidad hasta el momento, por orden, son ICR y BFFR (269), (368). No obstante, los dos se han asociado a altos tiempos quirúrgicos, a una alta complejidad técnica y a la posible lesión de órganos pélvicos (269), (368). Consideramos que la pieza sustitutiva sacra es mucho más sencilla de emplear que estos dos sistemas (ICR y BFFR) al ser individualizada para el paciente y poseer mecanizado todos los orificios para la introducción de los tornillos al cuerpo de L5 e ilíacos, disminuyendo la complejidad técnica, el tiempo quirúrgico, la cantidad de instrumentación y las complicaciones derivadas, la lesión de órganos pélvicos, entre otras, por su ubicación.

### 5.2.2. TENSIONES TRAS SACRECTOMÍA

El riesgo de rotura de los implantes y/o el aflojamiento de los mismos depende principalmente de las altas tensiones en ellos y en las estructuras óseas. Los valores absolutos de las tensiones calculadas están sometidos a factores desconocidos.

En el presente estudio los mayores valores de tensiones máximas de von Mises fueron las de los Modelos 1 y 2 (1179 MPa y 1182 MPa respectivamente), con tensiones máximas muy parecidas al sistema MGR, uno de los primeros empleados, (1042 MPa (238), (266)). Asimismo, los dos sistemas presentan las zonas de máxima tensión en el instrumental en los mismos puntos, el área de la barra de la columna entre el tornillo de L5 y el tornillo ilíaco (266).

Los Modelos 3 y 4, presentan menores tensiones máximas en el instrumental (787 MPa y 786 MPa) que MGR. Cabe destacar que estas son mayores que las de BFFR, ICR, TFR, FRR y SRR (ver Tabla 68). En este caso las tensiones máximas se concentraron en las barras que unían los tornillos L5 con los ilíacos y en los elementos de conexión transversal a nivel proximal. Los descensos de las tensiones seguramente se producen por el reparto de las mismas de la columna lumbar a través de los tornillos en suma de L5 unidos a los conectores transversales.

Los Modelos 5 y 6 presentaron una reducción de tensiones de la pieza sustitutiva respecto a los Modelos 1, 2, 3 y 4 muy altas; de un 91% en los Modelos 1 y 2 y de un 86% respecto a los Modelos 3 y 4.

Las tensiones máximas de los modelos con la pieza sustitutiva sacra (Modelos 5 y 6), de 112 MPa, por debajo de las tensiones de rotura de material Co28Cr6Mo y Ti6Al4V (Tabla 17), disminuyendo así el riesgo de rotura y de fatiga del implante a cargas estáticas. Sin embargo, las tensiones que se alcanzan con la mayoría sistemas publicados son muy altas y sí que podrían producir un fracaso a corto plazo tras su implantación e inicio de actividad física (ver Tabla 68). Las tensiones máximas de la pieza sustitutiva sacra (112 MPa) son casi iguales a las reportadas para ICR (108 MPa) (368), que son las más bajas publicadas hasta el momento en elementos finitos. Seguramente esto se deba a un cambio importante en la distribución de cargas; de forma que las cargas axiales ejercidas en la columna lumbar se distribuyen ampliamente y de forma armónica sobre una pieza que reemplaza la vértebra S1 transmitiendo la presión a los ilíacos y a la articulación sacroilíaca, recreada parcialmente, y de ahí a la articulación coxofemoral, siguiendo una transmisión de cargas más anatómica que el resto de reconstrucciones.

También es importante destacar que las zonas de debilidad en el instrumental son muy parecidas (la zona de unión entre L5 y pelvis) en los diferentes modelos publicados y en los analizados en nuestro estudio (ver Tabla 68).

### 5.2.3. RIGIDEZ

Al evaluar la rigidez de los sistemas se objetivó como, respecto a los Modelos 1 y 2, los 3 y 4 doblaron la rigidez del instrumental y como los Modelos 5 y 6 la triplicaron.

Al revisar la bibliografía sobre reconstrucciones tras sacrectomías totales en modelos MEF (Tabla 68), se observa como ICR, es el que presenta menor desplazamiento vertical L5 (0,70 mm) y menor tensión máxima en el instrumental (108 MPa) (368), con unos valores de rigidez parecidos a los modelos menos rígidos de nuestro estudio (Modelos 1 y 2) y los Modelos 3, 4, 5 y 6.

Los modelos con las piezas sustitutivas presentan rigideces mucho mayores, que las más altas reportadas en la bibliografía (ver Tabla 68). Sin embargo, uno de los principales problemas de obtener un sistema demasiado rígido es que impide un cierto micromovimiento que estimula la fusión. No obstante, la microporosidad que presenta la pieza sustitutiva de sacro, promueve la osteoinducción, la osteoconducción y la osteointegración.

Tabla 68. Revisión bibliográfica de los estudios MEF de reconstrucciones espinopélicas tras sacrectomías totales y resultados del presente estudio.

	Desplazamiento vertical L5 (mm)	Máxima tensión von Mises (MPa)	Rigidez (Nm/mm)	Zona máxima tensión
MGR		1042 (Kawahara) (238) 1042 (Murakami)		Murakami (266): Area de la barra columna entre tornillo de L5 e ilíaco.
TFR		222 (Kawahara) (238) 229 (Murakami, acero inoxidable) (266) 222 (Murakami aleación titanio) (266)		Kawahara (238) y Murakami (266): Punto de la barra sacra donde se inserta en L5, entre L5 y el ilíaco
SRR	2,5 (Zhu) (368)	309 (Zhu) (368) 400 (Kawahara) (238)	123,6 (Zhu) (368)	Zhu (368): En la barra longitudinal o sacra cerca de la conexión entre tornillo y barra.
FRR	7,2 (Zhu) (368)	324 (Zhu) (368)	45 (Zhu) (368)	Zhu (368): Parte media de las barras entre los tornillos ilíacos cortos y largos.
BFRR	1,3 (Zhu) (368)	221 (Zhu) (368)	179 (Zhu) (368)	Zhu (368): En la barra longitudinal o sacra cerca de la conexión entre tornillos y barras.
ICR	0,70 (Zhu) (368)	108 (Zhu) (368) 222 (Kawahara) (238)	154,3 (Zhu) (368)	Zhu (368): en la barra longitudinal o sacra cerca de la conexión entre tornillo y barras
Modelo 1	5,08	1179	232,1	En las barras que unen L5 con los tornillos anclados en la pelvis.
Modelo 2	5,15	1182	292,7	En las barras que unen L5 con los tornillos anclados en la pelvis.
Modelo 3	1,69	787	465,7	En las barras que unen L5 con los tornillos anclados en la pelvis También son altas las tensiones en los elementos de conexión transversal.
Modelo 4	1,7	786	462,7	En las barras que unen L5 con los tornillos anclados en la pelvis. También son altas las tensiones en los elementos de conexión transversales.
Modelo 5	0,13	112	861,5	En las barras que unen L5 con los tornillos anclados a la prótesis de sacro.
Modelo 6	0,13	112	861,5	En las barras que unen L5 con los tornillos anclados a la prótesis de sacro, alcanzando valores de 112 MPa.

## 5.2.4. INCIDENCIA PÉLVICA

Una de las ventajas de la pieza sustitutiva del sacro (Modelos 5 y 6) es su capacidad teórica para mantener la mPI.

La incidencia pélvica (PI) es una medida fija de relación entre la pelvis y el sacro, exclusiva en cada individuo, y que permanece constante después de la adolescencia (393), (394), (395). Solo se modifica en caso de una disociación lumbopélvica causada por una fractura de sacro tipo H (396), (397) o una sacrectomía total (369). Gottfried et al. (369) demostraron que la PI se alteraba tras una sacrectomía total por la desarticulación de la articulación sacroilíaca y la discontinuidad de la columna y pelvis, pero no en caso de preservación de la articulación sacroilíaca.

Los cambios en la PI suponen una alteración de la estabilidad espinopélvica. Una PI alta requiere una mayor lordosis lumbar para mantener el equilibrio sagital pudiendo producirse un desequilibrio sagital fijo (369), (398), (399), asociándose con alteraciones clínicas en forma de dolor y discapacidad (400).

Gottfried et al. (369) objetivaron que un cambio medio en el ángulo de mPI de  $13,6^\circ$  (rango  $7,8^\circ$ - $19,4^\circ$ ) en 5 pacientes con sacrectomía total todas tras una fusión L3-ilíacos. En el presente estudio, en el caso 4 a partir del cual está reconstruida la pieza sustitutiva del sacro, se produjo una disminución de mPI fue de  $19,2^\circ$  en la reconstrucción con el modelo 2 y de  $18,9^\circ$  con el modelo 4, valores parecidos a los del estudio de Gottfried et al. (369). En nuestro estudio, al valorar en estudio MEF la mPI teórica no se modificaba respecto al valor antes de la sacrectomía. Esto supondría un mantenimiento del balance sagital del paciente. Sí que es cierto que una limitación importante es que este valor es teórico.

## 5.2.5. PIEZA SUSTITUTIVA SACRA

La pieza sustitutiva sacra fabricada con el sistema EBM todavía no se ha comercializado, pero los resultados de los modelos biomecánicos experimentales realizados en el presente estudio indican que sería una buena estrategia de reconstrucción.

Los estudios de fatiga en el modelo de poliamida y en cadáver no presentaron fallos en el instrumental, validando los resultados de los modelos MEF e indicando que el sistema tendrá un buen comportamiento una vez implantado, sin presentar fallos teóricamente.

El hecho de que reconstruya la columna anterior de una forma uniforme y anatómica hace que se puedan distribuir las cargas de la columna vertebral a la pelvis de la forma más anatómica posible previniendo las sobrecargas en estas estructuras.

El hecho de que solo se haya reconstruido la primera vértebra sacra y por la técnica EBM implica que la pieza sea individualizada, presente un bajo peso y un tamaño adecuado para no sobrecargar el instrumental que la une a la columna lumbar y a la pelvis. Además, como la técnica EBM permite modelar según el criterio del grupo que diseña la pieza hace posible que se pueda adaptar para permitir un paso holgado y sin compresiones de las estructuras neurales.

Otra ventaja de la técnica EBM es permitir la fusión y el diseño de diferentes materiales y estructuras (el titanio macizo y el poroso) para combinar la alta resistencia a las cargas del titanio macizo y las propiedades del titanio poroso, que se encuentra en las zonas de contacto con la columna lumbar y pelvis favoreciendo la osteoinducción, osteoconducción y osteointegración del implante. Por lo tanto, podrían aumentar las tasas de fusión ósea, previniendo aflojamiento y fallos del instrumental, disminuyendo el número de complicaciones y las cirugías de revisión por este motivo. No obstante, dadas las características del estudio no se ha podido valorar este factor. A pesar de esta limitación consideramos que la pieza sustitutiva sacra puede ser una buena solución para iniciar una movilización precoz en pacientes sometidos una sacrectomía total, pero no podemos asegurar sus resultados a largo plazo.

La biocompatibilidad de la pieza también está asegurada. El empleo del Ti6Al4V en la fabricación aditiva para implantes ortopédicos se ha estudiado ampliamente y ha demostrado su biocompatibilidad, alta resistencia a la corrosión y fuerza mecánica (401), (402), (403), (404). Presenta una alta resistencia específica y módulos de elasticidad más próximos a los del hueso que las aleaciones de CoCr y acero inoxidable (405).

Además, la realización de los estudios de fatiga permitió comprobar la facilidad de implantación de la pieza por poseer las dimensiones individualizadas del paciente y por sus orificios automatizados y mecanizados en comparación con otros modelos mucho más complejos anteriormente descritos, lo que podría también disminuir el tiempo quirúrgico y las complicaciones derivadas.

Se ha demostrado además que la técnica de fabricación aditiva EBM supone un coste de fabricación y un tiempo de fabricación y comercialización del implante reducidos (338).

## **5.2.6. LIMITACIONES DEL ESTUDIO BIOMECÁNICO EXPERIMENTAL**

A continuación, se detallan las limitaciones de los estudios biomecánicos experimentales.

### **5.2.6.1. ESTUDIO DE ELEMENTOS FINITOS**

El estudio de elementos finitos incluye regiones y reconstrucciones de implantes difíciles de modelar, así que se han tenido que realizar simplificaciones por lo que existen diferencias con la realidad.

La conexión entre los tornillos y las barras y entre el hueso, tal y como están descritos, se ha asumido que son completamente rígidos, cosa que realmente no es cierta.

Los resultados del estudio son considerados como válidos para un paciente medio a pesar de que puede diferir para un individuo específico.

Solo fueron estudiadas las cargas axiales, sin tener en cuenta los momentos de flexión, extensión y rotación.

### **5.2.6.2. ESTUDIO DE FATIGA CON MODELO DE POLIAMIDA**

En el estudio de fatiga de la pieza con el modelo de poliamida no se realizó la medición de tensiones por su gran coste y trabajo para colocar galgas.

Solo fueron estudiadas las cargas axiales, sin tener en cuenta los momentos de flexión, extensión y rotación.

### **5.2.6.3. ESTUDIO DE FATIGA CON CADÁVER**

En este estudio no se realizó la medición de tensiones por su gran coste y trabajo para realizarlo.

En el ensayo en cadáver, la eliminación de los músculos y los tejidos blandos elimina el soporte estructural que le proporcionan a la columna y el efecto de estabilización proporcionado por ligamentos y músculos que están presentes en individuos vivos.

La DMO (densidad mineral ósea) no fue evaluada en este estudio, pero sí que se objetivó que el hueso radiológicamente no presentaba signos de osteoporosis. No obstante, la DMO condiciona el posible fallo del implante.

El hecho de que el estudio biomecánico se haya realizado en cadáver no puede proporcionar datos sobre una de las supuestas ventajas de implante que es facilitar la osteoinducción, osteoconducción y osteointegración, que es de suma importancia en la evaluación de sus resultados porque de ella depende el fallo del implante.

Además, solo se han evaluado las cargas axiales, por lo que desconocemos cuales serían los resultados en flexión, extensión y rotación, que serían condiciones fisiológicas normales sin cargas adicionales.

Estas limitaciones hacen que sea difícil extrapolar los resultados in vitro a modelos vivos.

Son necesarios estudios clínicos para valorar estos efectos con implantación de esta pieza en pacientes sometidos a sacrectomía total a la hora de elegir un método determinado.



# CONCLUSIONES



## 6. CONCLUSIONES

### 6.1. ESTUDIO CLÍNICO

- La sacrectomía en bloque se asoció a una alta tasa de complicaciones. Las complicaciones mayores más frecuentes en los primeros 6 meses fueron las relacionadas con la herida y posteriormente las debidas a los fallos de reconstrucción espinopélvica. La complicación menor más frecuente fue la infección de orina durante el seguimiento.
  - El número de reintervenciones disminuyó tras los 6 primeros meses posoperatorios. Durante los primeros 6 meses se debieron a problemas de herida quirúrgica y posteriormente por fallos del sistema de reconstrucción.
  - El sangrado excesivo se relacionó con el abordaje posterior solo y un tiempo quirúrgico alto.
  - Son necesarios sistemas de registro sistemáticos y prospectivos de las complicaciones para valorarlas exhaustivamente y de forma fidedigna.
- 
- La sacrectomía en bloque produjo un descenso de los valores de EVA significativos, que alcanzaron su nivel basal en el primer mes tras la cirugía. Se relacionó con la reconstrucción espinopélvica a los 6 meses posoperatorios.
  - En el posoperatorio predominó el dolor neurogénico y axial. El tipo de dolor no se relacionó con la clasificación quirúrgica sacra, ni la reconstrucción espinopélvica ni el límite superior de la osteotomía sacra transversal (por encima de S2).
- 
- La sacrectomía en bloque no supuso un deterioro de la función motora a largo plazo, pero sí a corto plazo, alcanzándose su nivel basal a los 6 meses de la cirugía.
  - La función motora a largo plazo se relacionó con el nivel de amputación de las raíces sacras, objetivando una relación lineal con la clasificación quirúrgica de Fourny (82). La preservación de las raíces S1 fue clave en la preservación de la función motora.
- 
- La sacrectomía en bloque supuso un deterioro de la función vesical pero no de la intestinal a largo plazo, alcanzándose los niveles basales de ambas al año de la cirugía.
  - Las funciones vesical e intestinal a largo plazo se relacionaron con el nivel de amputación de las raíces sacras, objetivando una relación lineal con la clasificación quirúrgica de Fourny (82). La preservación de la S2 fue clave en la preservación de la función vesical e intestinal. No obstante, por las características de la muestra no se pudo valorar el papel de la preservación de S3. Son necesarios estudios para esclarecer el papel de la preservación de las raíces sacras en estos casos.
  - Son necesarios estudios que esclarezcan las indicaciones de la colostomía en la sacrectomía en bloque, más allá de la afectación del recto.
- 
- Son necesarios estudios para valorar la función sexual y la sensibilidad tras la sacrectomía en bloque.
- 
- Las tasas de recurrencia y metástasis en el grupo cordoma fueron de un 37,5% y de un 31,25% respectivamente. Se relacionaron con la obtención de márgenes intralesionales y la afectación de tejidos periféricos al sacro.
- 
- La obtención de márgenes intralesionales en la sacrectomía en bloque no se relacionó con el nivel de resección ni con el volumen del tumor ni con el abordaje empleado.
  - Existe mucha discrepancia entre estudios a la hora de valorar los márgenes quirúrgicos en la sacrectomía. Es necesario homogeneizar las definiciones de los mismos para garantizar la comparabilidad entre los trabajos. No creemos adecuado el empleo del término margen amplio en la sacrectomía.

- En los cordomas, la SG a los 5 años y a los 10 años, 83% y 55% fue respectivamente, la SLE fue de 76% a los 5 años y de un 51% a los 5 años y SLM fue de un 85% a los 5 años y un 57% a los 10 años.
- La cirugía previa, el tamaño del tumor, la infiltración de tejidos periféricos al sacro, los márgenes intralesionales se relacionó con la SG, SLE y SLM. Además, la recurrencia se asoció a una peor SG y una SLM y la metástasis presentó una peor SG y SLE. Tenemos que destacar la limitación del estudio estadístico pues las características de la muestra no permitieron realizar un estudio multivariante para la valoración de factores de riesgo independientes.
- Son necesarios estudios con mayor seguimiento y tamaño para valorar los resultados oncológicos del procedimiento.

## 6.2. ESTUDIO BIOMECÁNICO EXPERIMENTAL

- La pieza sustitutiva sacra produjo una importante reducción de los desplazamientos verticales de L5 y de las tensiones que soporta el instrumental y las estructuras óseas, presentando los menores valores publicados hasta el momento, lo que demuestra su alta rigidez y estabilidad y su capacidad teórica para evitar el colapso de la columna vertebral en la pelvis. Las tensiones máximas en el instrumental obtenidas con la pieza sustitutiva sacra, no supondrían un riesgo de rotura a cargas estáticas ni fatiga del implante.
- La pieza sustitutiva sacra podría presentar un buen comportamiento una vez implantada, reconstruyendo la columna anterior, evitando sobrecargas en columna o pelvis, aumentando las tasas de fusión, pudiendo disminuir el número de cirugías de revisión por fallo del instrumental y permitiendo una movilización precoz del paciente.
- Respecto a los sistemas existentes la pieza sustitutiva sacra supone una mayor facilidad de implantación, y una menor cantidad de instrumentación, lo que conllevaría una disminución del tiempo quirúrgico y complicaciones relacionadas (infección, sangrado, lesión visceral, etc.).
- Son necesarios estudios clínicos para valorar los efectos de la implantación de la pieza sustitutiva sacra.



# ANEXOS



## 7. ANEXOS

### 7.1. ANEXO I: Documento de aprobación del estudio por el Comité Ético de Investigación Clínica



A/A.: **Dra. Ana María Morales**  
**Servicio de Traumatología**

D. Vicent Valentín Segura, Presidente del Comité Ético de Investigación Clínica del Hospital Universitario Dr. Peset.

#### **CERTIFICA:**

Que este comité en su reunión celebrada el día 27 de mayo de 2015 ha evaluado y ha aprobado el estudio titulado: Resecciones sacras en tumores primarios. Resultados funcionales y estudio biomecánico de reconstrucción.

**Proyecto de investigación.**

**Código Ceic: 11/14**

Valencia 2 de junio de 2015

  
Fdo.: **Vicent Valentín Segura**  
Presidente C.E.I.C. Hospital Universitario Dr. Peset

## 7.2. ANEXO II: Hoja de recogida de datos.

### HOJA DE RECOGIDA DE DATOS

#### 1.- DEMOGRÁFICAS

- Identificador: \_\_\_\_\_
- Sexo: Mujer (0) / Hombre (1)
- Fecha de Nacimiento: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

#### 2.- EVALUACIÓN PREOPERATORIA DEL TUMOR

##### 2.1.- DATOS GENERALES

- Tumor primario vertebral: \_\_\_\_\_
- Fecha de diagnóstico del tumor: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

##### 2.2. PRUEBAS DE IMAGEN

- Rx localizada: No (0)/Sí (1)
- RM columna localizada: No (0)/Sí (1)
- RM columna completa: No (0)/Sí (1)
- TC localizado de la lesión: No (0)/Sí (1)
- TC extensión: No (0)/Sí (1)
- Gammagrafía ósea: No (0)/Sí (1)
- PET-TC: No (0)/Sí (1)
- Angiografía: No (0)/Sí (1)
- AngioTC: No (0)/Sí (1)
- AngioRM: No (0)/Sí (1)

##### 2.3.- BIOPSIA

- Número de biopsias: \_\_\_\_\_
- Realizada/s en el mismo centro que lo opera: No (0) / Sí (1)
- Precisa otra biopsia en su centro: No (0) / Sí (1)
- Tipo: PAAF (1) / Trócar (2)/ Abierta (3)/ PAAF y trócar (4) / PAAF y abierta (5)/ Trócar y abierta (6)
- Biopsia concordante con diagnóstico definitivo posquirúrgico: No (0)/Sí (1)
- Histología de tumor por biopsia (registro del resultado de AP de la biopsia): \_\_\_\_\_

#### 3.- TRATAMIENTO PREOPERATORIO DEL TUMOR

- Quimioterapia\_preoperatoria: No (0) / Sí (1) Tipo: \_\_\_\_\_
- Radioterapia local preoperatoria: No (0) / Sí (1) Tipo: \_\_\_\_\_
- Quimioterapia preop + Radioterapia preop: No (0) / Sí (1) Tipo: \_\_\_\_\_
- IQ\_previa: No (0) / Sí (1) Fecha IQ previa: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_
- Márgenes de IQ\_previa (peor margen de la pieza): Intralesional (0) / Marginal (1)/ Amplios (2)
- Descripción de la cirugía previa: \_\_\_\_\_

#### 4.- CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL TUMOR

##### 4.1.- TOPOGRAFÍA Y CARACTERÍSTICAS TUMOR

- Diámetro mayor del tumor: \_\_\_\_\_mm (Medir en RM)
- Topografía del tumor (a partir de RM y TC preoperatorias) (marcar con una cruz las afectas):

	DERECHA	IZQUIERDA
L5		
A. Sacroiliaca		
S1		
S2		
S3		
S4		
S5		
Coccix		

- Afectación de escotadura ciática: No (0) / Sí (1)
- Afectación partes blandas:
  - Piel: No (0) / Sí (1)
  - Canal vertebral: No (0) / Sí (1)
  - Pared del recto: No (0) / Sí (1)
  - Nervio ciático: No (0) / Sí (1)
  - Músculo erector : No (0) / Sí (1)
  - Ligamento sacrotuberoso: No (0) / Sí (1)
  - Músculo piriforme: No (0) / Sí (1)
  - Ligamento sacroespinoso: No (0) / Sí (1)
  - Músculo glúteo: No (0) / Sí (1)
- \* Sistema estadiaje quirúrgico de Boriani basado en sistema de Enneking (marcar el adecuado)
 

Tipo S1	Tipo IA
Tipo S2	Tipo IB
Tipo S3	Tipo IIA
	Tipo IIB

### 5.- ESTADO BASAL PREOPERATORIO DEL PACIENTE

- Índice de Comorbilidad de Charlson
- ASA: \_\_\_\_\_
- Escala de valoración funcional de Karnofsky: \_\_\_\_\_
- Cirugía abdominal previa: No (0)/ Sí (1)
- Estado piel: (1) Intacta  
 (2) Fístula sacra  
 (3) Radiodermatitis  
 (4) Otros (especificar): \_\_\_\_\_

### 6.- CLÍNICA PREOPERATORIA

\*DOLOR:

- EVA: \_\_\_\_\_
- Tipo de dolor: (0) No dolor (2) Dolor radicular puro  
 (1) Dolor axial puro (3) Dolor axial + radicular

\*Estado NEUROLÓGICO:

- Función motora (escala Biagini modificada):

0	Normal	Normal o déficit que no precisa de ayuda o soporte externo para movilidad y actividades comunes
1	Problema menor	Déficit que precisa ayuda o soporte externo para caminar y actividades comunes
2	Problema mayor	Déficit que hacen la deambulación imposible

- Función vesical (escala Biagini modificada):

0	Normal	Normal
1	Problema menor	Siente el estímulo de micción y tiene una micción limitada. No necesita procedimientos invasivos (micción posible con contracción abdominal)
2	Problema mayor	No siente el estímulo de micción y/o es completamente incontinente. Necesita procedimientos invasivos como cateterización, autosondajes

- Función intestinal (escala Biagini modificada):

0	Normal	Normal
1	Problema menor	Siente estímulos para defecar y es continente cuando las heces son blandas o bajo estrés. No necesita procedimientos invasivos
2	Problema mayor	No siente el estímulo de defecar y/o completamente incontinente. Estreñimiento e incontinencia Necesita procedimientos invasivos como colostomía.

- Función sexual: (0) Normal/ (1) Alterada  
Disfunción eréctil: (0) No / (1) Sí / (2) No aplicable / (3) Desconocido

### 7.- PREPARACIÓN ANTES DE LA CIRUGÍA

- Embolización preoperatoria: No (0) / Sí (1)
- Preparación del colon preoperatoria: No (0) / Sí (1)
- Colostomía preoperatoria: No (0) / Colostomía temporal (1) / Colostomía definitiva (2)
- Derivación urinaria preoperatoria: No (0) / Sí (1)
- Cateterización uréteres (como marcadores en IQ): No (0) / Sí (1)
- Otros (especificar):

### 8- SACRECTOMÍA

- Fecha de la IQ inicial: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_
- Número de tiempos en los que se realiza: \_\_\_\_\_
- Cirujano principal: \_\_\_\_\_
- Duración de IQ (total): \_\_\_\_\_ (minutos)  
Vía anterior: \_\_\_\_\_ minutos  
Vía posterior: \_\_\_\_\_ minutos
- Descripción de la IQ: \_\_\_\_\_

#### 8.1.- INICIO

- Vía de abordaje: Anterior solo (1) / Posterior solo (2) / Antero-posterior secuencial (3) / Antero-posterior simultáneo (4) / Perineal (5)
- Tipo de incisión: Anterior: \_\_\_\_\_  
Posterior: \_\_\_\_\_
- Resección de zona/s biopsia/s durante cirugía: No (0) / Sí (1)

#### 8.2.- RESECCIÓN ÓSEA

- Niveles de osteotomía:
 

(1) L5-S1	(6) Cuerpo S3
(2) Cuerpo S1	(7) S3-S4
(3) S1-S2	(8) Cuerpo S4
(4) Cuerpo S2	(9) S4-S5
(5) S2-S3	(10) Cuerpo S5
- Resección de articulación sacro-ílica: (0) No/ (1) Izquierda/ (2) Derecha/ (3) Bilateral

### 8.3.- RESECCIÓN PARTES BLANDAS

- Piel: No (0) / Sí (1)
- Recto: No (0) / Sí (1)
- Músculo erector de la columna: No (0) / Sí (1);  
Derecho (1) / Izquierdo (2)/Bilateral (3)
- Músculo piriforme: No (0) / Sí (1)  
Derecho (1) / Izquierdo (2)/Bilateral (3)
- Músculo glúteo: No (0) / Sí (1)  
Derecho (1) / Izquierdo (2)/Bilateral (3)
- Ligamento sacrotuberoso: No (0) / Sí (1)
- Ligamento sacroespinoso: No (0) / Sí (1)
- Otros (especificar):

### 8.4.- MANIPULACIÓN NERVIOS

- Raíces amputadas (accidental o intencionadamente) (subrayar o marcar):

Ninguna

L5 izquierda / L5 derecha

S3 izquierda/ S3 derecha

S1 izquierda / S1 derecha

S4 izquierda / S4 derecha

S2 izquierda/ S2 derecha

S5 izquierda / S5 derecha

- Nivel más alto de amputación de raíces:
- Raíces amputadas accidentalmente:
- Lesión duramadre no intencionada: No (0) / Sí (1)

### 8.5.- CLASIFICACIÓN QUIRÚRGICA DE LAS RESECCIONES SACRAS

8.5.1.- Fournier: (1) Baja/ (2) Media/ (3) Alta/ (4) Total/ (5) Hemicopectomía

8.5.2.- Li: (1) Tipo I/ (2) Tipo II/ (3) Tipo III/ (4) Tipo IV/ (5) Tipo V

8.5.3.- Zhang: \_\_\_\_\_

Types	Subtypes	Subareas of the Subtypes	Definition of the Classification	
Type I	Type I a	Type I a1	higher sacral tumors that only affect the presacral area; the presacral tumor body is not large	
		Type I a2	higher sacral tumors that affect unilat/bilat sacroiliac joint; the presacral tumor body is not large	
		Type I a3	higher sacral tumors that only affect the posterior sacral area	
		Type I a12	higher sacral tumors that affect the presacral area & sacroiliac joint; the presacral tumor body is not large	
		Type I a13	higher sacral tumors that affect the presacral & posterior sacral area; the presacral tumor body is not large	
		Type I a23	higher sacral tumors that affect the posterior sacral area & the sacroiliac joint; the presacral tumor body is not large	
		Type I a123	higher sacral tumors that affect the presacral & the posterior sacral area & sacroiliac joint; the presacral tumor body is not large	
		Type I b	Type I b1	higher sacral tumors that only affect the presacral area; the presacral tumor body is large
			Type I b12	higher sacral tumors that affect the presacral area & sacroiliac joint; the presacral tumor body is large
	Type I b13		higher sacral tumors that affect the presacral & posterior sacral area; the presacral tumor body is large	
	Type I b123		higher sacral tumors that affect the presacral, posterior sacral area, & the sacroiliac joint; the presacral tumor body is large	
	Type II	Type II a	Type II a1	sacral tumors that affect S3-5; the presacral tumor body is not large
			Type II a3	sacral tumors that affect S3-5, the tumors grow toward the posterior sacral area
Type II a13			sacral tumors that affect S3-5; the presacral tumor body is not large; the tumors grow toward the posterior sacral area	
Type II b		Type II b1	sacral tumors that affect S3-5 & grow toward the presacral area; the tumor body is large	
		Type II b13	sacral tumors that affect S3-5 & grow toward the presacral & posterior sacral areas; the tumor body is large	

### **8.6. - MANIPULACIÓN DE VASOS:**

- Vasos ligados:
- Lesión vascular accidental: No (0) / Sí (1)  
Vaso/s lesionado/s: \_\_\_\_\_  
Actuación: \_\_\_\_\_
- Método de control de sangrado:  
Oclusión aorta con balón: No (0) / Sí (1)  
Otro tipo: \_\_\_\_\_

### **8.7. - MANIPULACIÓN VÍSCERAS:**

- Lesión visceral:  
No (0) / Sí (1)  
Viscera lesionada: \_\_\_\_\_  
Actuación: \_\_\_\_\_

### **8.8. - HEMATOLOGÍA INTRAOP Y POSTOP PRECOZ**

- Sangrado estimado intraoperatorio (cc): \_\_\_\_\_
- Hemoglobina preoperatoria (g/dl): \_\_\_\_\_
- Hematocrito preoperatorio (l/l): \_\_\_\_\_
- Hemoglobina postop (g/dl): \_\_\_\_\_
- Hematocrito postop (l/l): \_\_\_\_\_
- Número concentrados hematíes transfundidos en total: \_\_\_\_\_

### **8.9. - RECONSTRUCCIÓN ESPINOPÉLVICA**

- Reconstrucción espinopélvica: No (0) / Sí (1)
- Descripción de la reconstrucción: \_\_\_\_\_
- Injerto óseo en reconstrucción: No (0)/ Sí (1)
- Tipo de injerto: (1) Autoinjerto (6) Aspirado de médula ósea  
(2) Injerto óseo vascularizado (7) Fosfato tricálcico/hidroxiapatita  
(3) Aloinjerto (8) Cemento/PMMA  
(4) Matriz ósea desmineralizada (9) Cerámica  
(5) Proteína morfogenética (10) Otra: \_\_\_\_\_
- Descripción de injerto óseo utilizado en la reconstrucción:  
Tipo: \_\_\_\_\_  
Localización: \_\_\_\_\_

### **8.10. - CIERRE**

- Tiempo: Primario (1)/ Diferido (2)
- Fecha de cierre definitivo: \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_
- Cierre por cirujano plástico: No (0)/ Sí (0)
- Tipo de cierre: (1) Cierre primario (2) Cierre por segunda intención  
(3) Biomaterial (4) Injerto libre  
(5) Colgajo pediculado (6) Colgajo microvascularizado

Tipo de colgajo (especificar): \_\_\_\_\_  
Colgajo (si colgajo): Unilateral (1)/Bilateral (2)

- Colgajo miocutáneo preoperatorio: No (0) / Sí (1)
- Tipo de colgajo miocutáneo: \_\_\_\_\_
- Número redones: \_\_\_\_\_



- Función sexual: (0) Normal/ (1) Alterada

0	Normal	Normal
1	Problema menor	Siente estímulos para defecar y es continente cuando las heces son blandas o bajo estrés. No necesita procedimientos invasivos.
2	Problema mayor	No siente el estímulo de defecar y/o completamente incontinente. Estreñimiento e incontinencia Necesita procedimientos invasivos como colostomía.

Disfunción eréctil: (0) No/ (1) Sí / (2) No aplicable / (3) Desconocido

- Colostomía al alta: No (0)/ Temporal (1)/ Definitiva (2)
- Sondaje vesical al alta: No (0) / Sí (0)

### 13.2.- Complicaciones durante los 30 primeros días posoperatorios

-> COMPLICACIÓN MÉDICA:

Cardiovascular: HTA, TVP, Arritmia, Embolismo pulmonar:

Pulmonar:

Respiratorias:

Endocrinológicas:

Gastrointestinales:

Génito-urinario:

Ginecológicos:

Cambios estado mental:

Fractura sacra

Fractura en miembros inferiores secundario a RT:

Otras:

-> HERIDA QUIRÚRGICA

- Hemorragia posoperatoria: No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

- Seroma: No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

- Dehiscencia de herida; No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

- Infección superficial: No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

- Infección profunda: No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

- Necrosis márgenes de la herida: No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

- Fallo del colgajo No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Microorganismo/s aislado (si infección):

Tratamiento:

-> REINTERVENCIONES SECUNDARIAS (intervenciones que precisan ingreso y anestesia)

---



---



---

## 14.- SEGUIMIENTO A LOS 6 PRIMEROS MESES POSOPERATORIOS

### 14.1.- Funcionalidad

#### \*DOLOR:

- EVA: \_\_\_\_\_
- Tipo de dolor: (0) No dolor (2) Dolor radicular puro  
(1) Dolor axial puro (3) Dolor axial + radicular

#### \*Estado NEUROLÓGICO:

- Alteración sensibilidad en silla de montar: No (0) / Sí (1)
- Alteración sensibilidad en miembros inferiores: No (0) / Sí (1)
- Función motora (escala Biagini modificada):

0	Normal	Normal o déficit que no precisa de ayuda o soporte externo para movilidad y actividades comunes.
1	Problema menor	Déficit que precisa ayuda o soporte externo para caminar y actividades comunes.
2	Problema mayor	Déficit que hacen la deambulación imposible.

- Función vesical (escala Biagini modificada):

0	Normal	Normal
1	Problema menor	Siente el estímulo de micción y tiene una micción limitada. No necesita procedimientos invasivos (micción posible con contracción abdominal).
2	Problema mayor	No siente el estímulo de micción y/o es completamente incontinente. Necesita procedimientos invasivos como cateterización, autosondajes

- Función intestinal (escala Biagini modificada):

0	Normal	Normal
1	Problema menor	Siente estímulos para defecar y es continente cuando las heces son blandas o bajo estrés. No necesita procedimientos invasivos.
2	Problema mayor	No siente el estímulo de defecar y/o completamente incontinente. Estreñimiento e incontinencia. Necesita procedimientos invasivos como colostomía.

- Función sexual: (0) Normal/ (1) Alterada  
Disfunción eréctil: (0) No / (1) Sí / (2) No aplicable / (3) Desconocido

## 14.2.- Complicaciones entre los 30 días y los 6 meses posoperatorios

-> COMPLICACIÓN MÉDICA:

Cardiovascular: HTA, TVP, Arritmia, Embolismo pulmonar:

Pulmonar:

Respiratorias:

Endocrinológicas:

Gastrointestinales:

Génito-urinario:

Ginecológicos:

Cambios estado mental:

Fractura sacra:

Fractura en miembros inferiores secundario a RT:

Otras:

-> HERIDA QUIRÚRGICA

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| - Hemorragia posoperatoria: No (0)/ Si (1)       | Fecha: ____/____/____ |
| - Seroma: No (0)/ Si (1)                         | Fecha: ____/____/____ |
| - Dehiscencia de herida; No (0)/ Si (1)          | Fecha: ____/____/____ |
| - Infección superficial: No (0)/ Si (1)          | Fecha: ____/____/____ |
| - Infección profunda: No (0)/ Si (1)             | Fecha: ____/____/____ |
| - Necrosis márgenes de la herida: No (0)/ Si (1) | Fecha: ____/____/____ |
| - Fallo del colgajo: No (0)/ Si (1)              | Fecha: ____/____/____ |

Microorganismo/s aislado (si infección):

Tratamiento:

-> REINTERVENCIONES SECUNDARIAS (intervenciones que precisan ingreso y anestesia)

---

---

## 15.- SEGUIMIENTO AL AÑO POSOPERATORIO

Fecha seguimiento: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

### 15.1.- Funcionalidad

\*DOLOR:

- EVA: \_\_\_\_\_
- Tipo de dolor: (0) No dolor (2) Dolor radicular puro  
(1) Dolor axial puro (3) Dolor axial + radicular

\*Estado NEUROLÓGICO:

- Alteración sensibilidad en silla de montar: No (0) / Sí (1)
- Alteración sensibilidad en miembros inferiores: No (0) / Sí (1)
- Función motora (escala Biagini modificada):

0	Normal	Normal o déficit que no precisa de ayuda o soporte externo para movilidad y actividades comunes.
1	Problema menor	Déficit que precisa ayuda o soporte externo para caminar y actividades comunes.
2	Problema mayor	Déficit que hacen la deambulación imposible.

- Función vesical (escala Biagini modificada):

0	Normal	Normal
1	Problema menor	Siente el estímulo de micción y tiene una micción limitada. No necesita procedimientos invasivos (micción posible con contracción abdominal)
2	Problema mayor	No siente el estímulo de micción y/o es completamente incontinente Necesita procedimientos invasivos como cateterización, autosondajes

- Función intestinal (escala Biagini modificada):

0	Normal	Normal
1	Problema menor	Siente estímulos para defecar y es continente cuando las heces son blandas o bajo estrés. No necesita procedimientos invasivos.
2	Problema mayor	No siente el estímulo de defecar y/o completamente incontinente. Estreñimiento e incontinencia Necesita procedimientos invasivos como colostomía.

- Función sexual: (0) Normal/ (1) Alterada  
Disfunción eréctil: (0) No / (1) Sí / (2) No aplicable / (3) Desconocido

### 15.2.- Complicaciones entre los 6 meses y los 12 primeros meses posoperatorios

-> COMPLICACIÓN MÉDICA:

Cardiovascular: HTA, TVP, Arritmia, Embolismo pulmonar:

Pulmonar:

Respiratorias:

Endocrinológicas:

Gastrointestinales:

Génito-urinario:

Ginecológicos:

Cambios estado mental:

Fractura sacra:

Fractura en miembros inferiores secundario a RT:

Otras:

-> HERIDA QUIRÚRGICA

- Hemorragia posoperatoria: No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

- Seroma: No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

- Dehiscencia de herida; No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

- Infección superficial: No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

- Infección profunda: No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

- Necrosis márgenes de la herida: No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

- Fallo del colgajo No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Microorganismo/s aislado (si infección):

Tratamiento:

-> REINTERVENCIONES SECUNDARIAS (intervenciones que precisan ingreso y anestesia)

---

## 16.- SEGUIMIENTO A LOS 2 AÑOS POSOPERATORIOS

### 16.1.- Funcionalidad

Fecha seguimiento: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

#### \*DOLOR:

- EVA: \_\_\_\_\_
- Tipo de dolor: (0) No dolor (2) Dolor radicular puro  
(1) Dolor axial puro (3) Dolor axial + radicular

#### \*Estado NEUROLÓGICO:

- Alteración sensibilidad en silla de montar: No (0) / Sí (1)
- Alteración sensibilidad en miembros inferiores: No (0) / Sí (1)

0	Normal	Normal o déficit que no precisa de ayuda o soporte externo para movilidad y actividades comunes.
1	Problema menor	Déficit que precisa ayuda o soporte externo para caminar y actividades comunes.
2	Problema mayor	Déficit que hacen la deambulaci3n imposible.

- Funci3n motora (escala Biagini modificada):

0	Normal	Normal
1	Problema menor	Siente el est3mulo de micci3n y tiene una micci3n limitada. No necesita procedimientos invasivos (micci3n posible con contracci3n abdominal).
2	Problema mayor	No siente el est3mulo de micci3n y/o es completamente incontinente. Necesita procedimientos invasivos como cateterizaci3n, autosondajes

- Funci3n vesical (escala Biagini modificada):

0	Normal	Normal
1	Problema menor	Siente est3mulos para defecar y es continente cuando las heces son blandas o bajo estr3s. No necesita procedimientos invasivos.
2	Problema mayor	No siente el est3mulo de defecar y/o completamente incontinente. Estreñimiento e incontinencia. Necesita procedimientos invasivos como colostom3a.

- Funci3n intestinal (escala Biagini modificada):
- Funci3n sexual: (0) Normal / (1) Alterada  
Disfunci3n er3ctil: (0) No / (1) S3 / (2) No aplicable / (3) Desconocido

## 16.2.- Complicaciones durante el periodo del 1º año al 2º año posoperatorios

-> COMPLICACIÓN MÉDICA:

Cardiovascular: HTA, TVP, Arritmia, Embolismo pulmonar:

Pulmonar:

Respiratorias:

Endocrinológicas:

Gastrointestinales:

Génito-urinario:

Ginecológicos:

Cambios estado mental:

Fractura sacra:

Fractura en miembros inferiores secundario a RT:

Otras:

-> HERIDA QUIRÚRGICA

- Hemorragia posoperatoria: No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

- Seroma: No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

- Dehiscencia de herida; No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

- Infección superficial: No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

- Infección profunda: No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

- Necrosis márgenes de la herida: No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

- Fallo del colgajo No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Microorganismo/s aislado (si infección):

Tratamiento:

-> REINTERVENCIONES SECUNDARIAS (intervenciones que precisan ingreso y anestesia)

---

---

## 17.- ÚLTIMO SEGUIMIENTO

Fecha seguimiento: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

### 17.1.- Funcionalidad

\*DOLOR:

• EVA: \_\_\_\_\_

• Tipo de dolor: (0) No dolor (2) Dolor radicular puro  
(1) Dolor axial puro (3) Dolor axial + radicular

\*Estado NEUROLÓGICO:

• Alteración sensibilidad en silla de montar: No (0) / Sí (1)

• Alteración sensibilidad en miembros inferiores: No (0) / Sí (1)

• Función motora (escala Biagini modificada):

0	Normal	Normal o déficit que no precisa de ayuda o soporte externo para movilidad y actividades comunes.
1	Problema menor	Déficit que precisa ayuda o soporte externo para caminar y actividades comunes.
2	Problema mayor	Déficit que hacen la deambulación imposible.

- Función vesical (escala Biagini modificada):

0	Normal	Normal
1	Problema menor	Siente el estímulo de micción y tiene una micción limitada. No necesita procedimientos invasivos (micción posible con contracción abdominal).
2	Problema mayor	No siente el estímulo de micción y/o es completamente incontinente. Necesita procedimientos invasivos como cateterización, autosondajes

- Función intestinal (escala Biagini modificada):

0	Normal	Normal
1	Problema menor	Siente estímulos para defecar y es continente cuando las heces son blandas o bajo estrés. No necesita procedimientos invasivos.
2	Problema mayor	No siente el estímulo de defecar y/o completamente incontinente. Estreñimiento e incontinencia. Necesita procedimientos invasivos como colostomía.

- Función sexual: (0) Normal/ (1) Alterada

Disfunción eréctil: (0) No / (1) Sí / (2) No aplicable / (3) Desconocido

### 17.2.- Complicaciones durante del 2º año hasta final de seguimiento.

-> COMPLICACIÓN MÉDICA:

Cardiovascular: HTA, TVP, Arritmia, Embolismo pulmonar:

Pulmonar:

Respiratorias:

Endocrinológicas:

Gastrointestinales:

Génito-urinario:

Ginecológicos:

Cambios estado mental:

Fractura sacra:

Fractura en miembros inferiores secundario a RT:

Otras:

-> HERIDA QUIRÚRGICA

- Hemorragia posoperatoria: No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

- Seroma: No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

- Dehiscencia de herida; No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

- Infección superficial: No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

- Infección profunda: No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

- Necrosis márgenes de la herida: No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

- Fallo del colgajo No (0)/ Si (1)

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Microorganismo/s aislado (si infección): \_\_\_\_\_

Tratamiento:

-> REINTERVENCIONES SECUNDARIAS (intervenciones que precisan ingreso y anestesia)

---

---

## **18.- EVOLUCIÓN DE SISTEMA DE RECONSTRUCCIÓN**

- Fusión ósea en Rx: No (0)/ Sí (1)
  - Fusión ósea en TC: No (0)/ Sí (1)
  - Fallo del material de reconstrucción: No (0)/ Si (1)
  - Descripción de fallo de reconstrucción:
  - Recirugía por fallo de la instrumentación: No (0)/ Si (1)
  - Descripción de recirugía por fallo de instrumentación:
- 
- 

## **19.- CONTROL DE LA LESIÓN AL FINAL DEL SEGUIMIENTO**

### **19.1.- Recurrencia**

Fecha diagnóstico de recurrencia: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

Recurrencia: No (0) / Sí (1)

Tratamiento recurrencia:

- |                    |                  |
|--------------------|------------------|
| (0) No tratamiento | (4) QT + RT      |
| (1) QT             | (5) QT + IQ      |
| (2) RT             | (6) RT + IQ      |
| (3) IQ             | (7) RT + QT + IQ |

### **19.2.- Metástasis**

Metástasis: No (0)/ Sí (1)

Fecha diagnóstico de metástasis: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

Tratamiento metástasis:

- |                    |                  |
|--------------------|------------------|
| (0) No tratamiento | (4) QT + RT      |
| (1) QT             | (5) QT + IQ      |
| (2) RT             | (6) RT + IQ      |
| (3) IQ             | (7) RT + QT + IQ |

## **20- ESTADO AL FINAL DEL SEGUIMIENTO**

- (1) Vivo libre de enfermedad.
- (2) Vivo con enfermedad
- (3) Fallecimiento

Fecha de fallecimiento: \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_

Causa fallecimiento:

- (1) Relacionada con la enfermedad
- (2) Relacionada con el tratamiento de la columna
- (3) No relacionada con la enfermedad
- (4) Relacionada con la cirugía

Especificación de causa muerte: \_\_\_\_\_

### 7.3. ANEXO III: Descripción de los casos del estudio clínico

Tabla 69. Descripción de los casos que conforman la muestra del estudio clínico

Caso	Edad (años)	Histotipo	Tipo sacrectomía Fourney et al. (82)	Reconstrucción espinopélvica
1	44	Cordoma	Media	No
2	54	Cordoma	Alta	No
3	52	Cordoma	Total	No
4	50	Cordoma	Total	Sí
5	29	Cordoma	Alta	No
6	81	Cordoma	Media	No
7	52	Cordoma	Media	No
8	41	Cordoma	Alta	Sí
9	66	Cordoma	Media	No
10	62	Cordoma	Baja	Sí
11	39	Cordoma	Total	Sí
12	33	Cordoma	HC	Sí
13	63	Cordoma	Alta	No
14	52	Cordoma	Alta	Sí
15	31	Cordoma	Baja	No
16	53	Ependimoma	Alta	No
17	47	Leiomiomasarcoma	Alta	No
18	58	Cordoma	Media	No

HC: hemisacrectomía



# BIBLIOGRAFÍA



## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. Feldenzer JA, McGauley JL, McGillicuddy JE. Sacral and presacral tumors: problems in diagnosis and management. *Neurosurgery*. 1989;25(6):884-91.
2. Unni KK. In: Lippincott-Raven, editor. *Dahlin's Bone Tumors: General Aspects and Data on 11,087 Cases*. 5th ed. ed. Philadelphia 1997.
3. Boriani S, Weinstein JN, Biagini R. Primary bone tumors of the spine. Terminology and surgical staging. *Spine*. 1997;22(9):1036-44.
4. Hogendoorn PC, Athanasou N, Bielack S, De Alava E, Dei Tos AP, Ferrari S, et al. Bone sarcomas: ESMO Clinical Practice Guidelines for diagnosis, treatment and follow-up. *Annals of oncology : official journal of the European Society for Medical Oncology / ESMO*. 2010;21 Suppl 5:204-13.
5. Mukherjee D, Chaichana KL, Parker SL, Gokaslan ZL, McGirt MJ. Association of surgical resection and survival in patients with malignant primary osseous spinal neoplasms from the Surveillance, Epidemiology, and End Results (SEER) database. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 2013;22(6):1375-82.
6. Sundaresan N, Rosen G, Boriani S. Primary malignant tumors of the spine. *The Orthopedic clinics of North America*. 2009;40(1):21-36.
7. Disler DG, Miklic D. Imaging findings in tumors of the sacrum. *AJR American journal of roentgenology*. 1999;173(6):1699-706.
8. Leproux F, de Toffol B, Aesch B, Cotty P. MRI of cranial chordomas: the value of gadolinium. *Neuroradiology*. 1993;35(7):543-5.
9. D'Haen B, De Jaegere T, Goffin J, Dom R, Demaerel P, Plets C. Chordoma of the lower cervical spine. *Clinical neurology and neurosurgery*. 1995;97(3):245-8.
10. Papagelopoulos PJ, Mavrogenis AF, Galanis EC, Sawidou OD, Boscaiños PJ, Katonis PG, et al. Chordoma of the spine: clinicopathological features, diagnosis, and treatment. *Orthopedics*. 2004;27(12):1256-63; quiz 64-5.
11. Mertens F, Mirra JM, Della Rocca C, Nelson SD. Chordoma. In: Fletcher C, Unni KK, Mertens F, editors. *Pathology & Genetics; Tumors of Soft Tissue and Bone* Lyon: WHO, IARC Press; 2002. p. 315-7.
12. Naka T, Boltze C, Kuester D, Schulz TO, Schneider-Stock R, Kellner A, et al. Alterations of G1-S checkpoint in chordoma: the prognostic impact of p53 overexpression. *Cancer*. 2005;104(6):1255-63.
13. Kilgore S, Prayson RA. Apoptotic and proliferative markers in chordomas: a study of 26 tumors. *Annals of diagnostic pathology*. 2002;6(4):222-8.
14. Naka T, Boltze C, Samii A, Herold C, Ostertag H, Iwamoto Y, et al. Skull base and nonskull base chordomas: clinicopathologic and immunohistochemical study with special reference to nuclear pleomorphism and proliferative ability. *Cancer*. 2003;98(9):1934-41.
15. Oakley GJ, Fuhrer K, Seethala RR. Brachyury, SOX-9, and podoplanin, new markers in the skull base chordoma vs chondrosarcoma differential: a tissue microarray-based comparative analysis. *Modern pathology : an official journal of the United States and Canadian Academy of Pathology, Inc*. 2008;21(12):1461-9.
16. Koh JS, Chang UK, Kim SH. Tumores malignos epidurales. In: Koh JS, Chang UK, Kim SH, editors. *Tumores de la columna vertebral* Madrid: Elsevier; 2010. p. 27-49.
17. Stacchiotti S, Sommer J. Building a global consensus approach to chordoma: a position paper from the medical and patient community. *The lancet oncology*. 2015;16(2):e71-83.
18. Bergh P, Kindblom LG, Gunterberg B, Remotti F, Ryd W, Meis-Kindblom JM. Prognostic factors in chordoma of the sacrum and mobile spine: a study of 39 patients. *Cancer*. 2000;88(9):2122-34.
19. Fuchs B, Dickey ID, Yaszemski MJ, Inwards CY, Sim FH. Operative management of sacral chordoma. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2005;87(10):2211-6.
20. Stacchiotti S, Longhi A, Ferraresi V, Grignani G, Comandone A, Stupp R, et al. Phase II study of imatinib in advanced chordoma. *Journal of clinical oncology : official journal of the American Society of Clinical Oncology*. 2012;30(9):914-20.
21. Asklund T, Sandstrom M, Shahidi S, Riklund K, Henriksson R. Durable stabilization of three chordoma cases by bevacizumab and erlotinib. *Acta oncologica (Stockholm, Sweden)*. 2014;53(7):980-4.
22. Walcott BP, Nahed BV, Mohyeldin A, Coumans JV, Kahle KT, Ferreira MJ. Chordoma: current concepts, management, and future directions. *The lancet oncology*. 2012;13(2):e69-76.
23. Hsu W, Mohyeldin A, Shah SR, ap Rhys CM, Johnson LF, Sedora-Roman NI, et al. Generation of chordoma cell line JHC7 and the identification of Brachyury as a novel molecular target. *Journal of neurosurgery*. 2011;115(4):760-9.
24. Chen YL, Liebsch N, Kobayashi W, Goldberg S, Kirsch D, Calkins G, et al. Definitive high-dose photon/proton

- radiotherapy for unresected mobile spine and sacral chordomas. *Spine*. 2013;38(15):E930-6.
25. Martin C, McCarthy EF. Giant cell tumor of the sacrum and spine: series of 23 cases and a review of the literature. *The Iowa orthopaedic journal*. 2010;30:69-75.
  26. Orguc S, Arkun R. Primary tumors of the spine. *Seminars in musculoskeletal radiology*. 2014;18(3):280-99.
  27. Hart RA, Boriani S, Biagini R, Currier B, Weinstein JN. A system for surgical staging and management of spine tumors. A clinical outcome study of giant cell tumors of the spine. *Spine*. 1997;22(15):1773-82; discussion 83.
  28. Wilartratsami S, Muangsomboon S, Benjarassameraj S, Phimolsarnti R, Chavasiri C, Luksanapruksa P. Prevalence of primary spinal tumors: 15-year data from Siriraj Hospital. *Journal of the Medical Association of Thailand = Chotmaihet thangphaet*. 2014;97 Suppl 9:S83-7.
  29. Boriani S, Bandiera S, Casadei R, Boriani L, Donthineni R, Gasbarrini A, et al. Giant cell tumor of the mobile spine: a review of 49 cases. *Spine*. 2012;37(1):E37-45.
  30. Larsson SE, Lorentzon R, Boquist L. Giant-cell tumor of bone. A demographic, clinical, and histopathological study of all cases recorded in the Swedish Cancer Registry for the years 1958 through 1968. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1975;57(2):167-73.
  31. Werner M. Giant cell tumour of bone: morphological, biological and histogenetical aspects. *International orthopaedics*. 2006;30(6):484-9.
  32. Mendenhall WM, Zlotecki RA, Scarborough MT, Gibbs CP, Mendenhall NP. Giant cell tumor of bone. *American journal of clinical oncology*. 2006;29(1):96-9.
  33. Tubbs WS, Brown LR, Beabout JW, Rock MG, Unni KK. Benign giant-cell tumor of bone with pulmonary metastases: clinical findings and radiologic appearance of metastases in 13 cases. *AJR American journal of roentgenology*. 1992;158(2):331-4.
  34. Reid R, Banerjee SS, Sciort R. Giant cell tumor. In: Fletcher CD, Unni KK, F. M, editors. *World health organization classification of tumours Pathology and genetics Tumours of soft tissue and bone* 2002. p. 310.
  35. Kwon JW, Chung HW, Cho EY, Hong SH, Choi SH, Yoon YC, et al. MRI findings of giant cell tumors of the spine. *AJR American journal of roentgenology*. 2007;189(1):246-50.
  36. Thakur NA, Daniels AH, Schiller J, Valdes MA, Czerwejn JK, Schiller A, et al. Benign tumors of the spine. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2012;20(11):715-24.
  37. Atkins GJ, Haynes DR, Graves SE, Evdokiou A, Hay S, Bouralexis S, et al. Expression of osteoclast differentiation signals by stromal elements of giant cell tumors. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*. 2000;15(4):640-9.
  38. Ghert M, Simunovic N, Cowan RW, Colterjohn N, Singh G. Properties of the stromal cell in giant cell tumor of bone. *Clinical orthopaedics and related research*. 2007;459:8-13.
  39. Thangaraj R, Grimer RJ, Carter SR, Stirling AJ, Spilsbury J, Spooner D. Giant cell tumour of the sacrum: a suggested algorithm for treatment. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 2010;19(7):1189-94.
  40. Luksanapruksa P, Buchowski JM, Singhatanadgige W, Rose PC, Bumpass DB. Management of spinal giant cell tumors. *The Spine Journal*. 2015;16(2):259-69.
  41. Refai D, Dunn GP, Santiago P. Giant cell tumor of the thoracic spine: case report and review of the literature. *Surgical neurology*. 2009;71(2):228-33; discussion 33.
  42. Sundaresan N, Boriani S, Okuno S. State of the art management in spine oncology: a worldwide perspective on its evolution, current state, and future. *Spine*. 2009;34(22 Suppl):S7-20.
  43. Campanacci M, Baldini N, Boriani S, Sudanese A. Giant-cell tumor of bone. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1987;69(1):106-14.
  44. Leggon RE, Zlotecki R, Reith J, Scarborough MT. Giant cell tumor of the pelvis and sacrum: 17 cases and analysis of the literature. *Clinical orthopaedics and related research*. 2004(423):196-207.
  45. Li G, Fu D, Chen K, Ma X, Sun M, Sun W, et al. Surgical strategy for the management of sacral giant cell tumors: a 32-case series. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society*. 2012;12(6):484-91.
  46. Turcotte RE, Sim FH, Unni KK. Giant cell tumor of the sacrum. *Clinical orthopaedics and related research*. 1993(291):215-21.
  47. Nakanishi K, Yoshikawa H, Ueda T, Araki N, Tanaka H, Aozasa K, et al. Postradiation sarcomas of the pelvis after treatment for uterine cervical cancer: review of the CT and MR findings of five cases. *Skeletal radiology*. 2001;30(3):132-7.
  48. Junming M, Cheng Y, Dong C, Jianru X, Xinghai Y, Quan H, et al. Giant cell tumor of the cervical spine: a series of 22 cases and outcomes. *Spine*. 2008;33(3):280-8.
  49. Hosalkar HS, Jones KJ, King JJ, Lackman RD. Serial arterial embolization for large sacral giant-cell tumors: mid- to long-term results. *Spine*. 2007;32(10):1107-15.
  50. Lin PP, Guzel VB, Moura MF, Wallace S, Benjamin RS, Weber KL, et al. Long-term follow-up of patients with giant cell tumor of the sacrum treated with selective arterial embolization. *Cancer*. 2002;95(6):1317-25.
  51. Dominkus M, Ruggieri P, Bertoni F, Briccoli A, Picci P, Rocca M, et al. Histologically verified lung metastases in benign

- giant cell tumours-14 cases from a single institution. *International orthopaedics*. 2006;30(6):499-504.
52. Anract P, De Pinieux G, Cottias P, Pouillart P, Forest M, Tomeno B. Malignant giant-cell tumours of bone. Clinico-pathological types and prognosis: a review of 29 cases. *International orthopaedics*. 1998;22(1):19-26.
53. Cheng YY, Huang L, Lee KM, Xu JK, Zheng MH, Kumta SM. Bisphosphonates induce apoptosis of stromal tumor cells in giant cell tumor of bone. *Calcified tissue international*. 2004;75(1):71-7.
54. Xu W, Li X, Huang W, Wang Y, Han S, Chen S, et al. Factors affecting prognosis of patients with giant cell tumors of the mobile spine: retrospective analysis of 102 patients in a single center. *Annals of surgical oncology*. 2013;20(3):804-10.
55. Gille O, Oliveira Bde A, Guerin P, Lepreux S, Richez C, Vital JM. Regression of giant cell tumor of the cervical spine with bisphosphonate as single therapy. *Spine*. 2012;37(6):E396-9.
56. Bekker PJ, Holloway DL, Rasmussen AS, Murphy R, Martin SW, Leese PT, et al. A single-dose placebo-controlled study of AMG 162, a fully human monoclonal antibody to RANKL, in postmenopausal women. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*. 2004;19(7):1059-66.
57. Martin-Broto J, Cleeland CS, Glare PA, Engellau J, Skubitz KM, Blum RH, et al. Effects of denosumab on pain and analgesic use in giant cell tumor of bone: interim results from a phase II study. *Acta oncologica (Stockholm, Sweden)*. 2014;53(9):1173-9.
58. Thomas D, Henshaw R, Skubitz K, Chawla S, Staddon A, Blay JY, et al. Denosumab in patients with giant-cell tumour of bone: an open-label, phase 2 study. *The lancet oncology*. 2010;11(3):275-80.
59. Goldschlager T, Dea N, Boyd M, Reynolds J, Patel S, Rhines LD, et al. Giant cell tumors of the spine: has denosumab changed the treatment paradigm? *Journal of neurosurgery Spine*. 2015;22(5):526-33.
60. Randall RL. Giant cell tumor of the sacrum. *Neurosurgical focus*. 2003;15(2):E13.
61. Kollender Y, Meller I, Bickels J, Flusser G, Issakov J, Merimsky O, et al. Role of adjuvant cryosurgery in intralesional treatment of sacral tumors. *Cancer*. 2003;97(11):2830-8.
62. Takeda N, Kobayashi T, Tandai S, Matsuno T, Shirado O, Watanabe T, et al. Treatment of giant cell tumors in the sacrum and spine with curettage and argon beam coagulator. *Journal of orthopaedic science : official journal of the Japanese Orthopaedic Association*. 2009;14(2):210-4.
63. Arndt CA, Crist WM. Common musculoskeletal tumors of childhood and adolescence. *The New England journal of medicine*. 1999;341(5):342-52.
64. Ilaslan H, Sundaram M, Unni KK, Dekutoski MB. Primary Ewing's sarcoma of the vertebral column. *Skeletal radiology*. 2004;33(9):506-13.
65. Bernstein M, Kovar H, Paulussen M, Randall RL, Schuck A, Teot LA, et al. Ewing's sarcoma family of tumors: current management. *The oncologist*. 2006;11(5):503-19.
66. Srinivasalu S, D'Souza A. Sacral Ewing's Sarcoma and Challenges in it's Diagnosis on MRI. *Journal of radiology case reports*. 2009;3(1):23-6.
67. Ushigome S, Macchinami R, Sorensen PH. Ewing sarcoma/Primitive neuroectodermal tumor (PNET). In: Fletcher C. UKK, Mertens F., editor. *Pathology & Genetics; Tumors of Soft Tissue and Bone* Lyon: WHO, IARC Press; 2002. p. 298-300.
68. Turc-Carel C, Philip I, Berger MP, Philip T, Lenoir GM. Chromosome study of Ewing's sarcoma (ES) cell lines. Consistency of a reciprocal translocation t(11;22)(q24;q12). *Cancer genetics and cytogenetics*. 1984;12(1):1-19.
69. Skubitz KM, D'Adamo DR. Sarcoma. *Mayo Clinic proceedings*. 2007;82(11):1409-32.
70. Nesbit ME, Jr., Gehan EA, Burgert EO, Jr., Vietti TJ, Cangir A, Tefft M, et al. Multimodal therapy for the management of primary, nonmetastatic Ewing's sarcoma of bone: a long-term follow-up of the First Intergroup study. *Journal of clinical oncology : official journal of the American Society of Clinical Oncology*. 1990;8(10):1664-74.
71. Rzek A, Perez CA, Tefft M, Nesbit M, Vietti T, Burgert EO, Jr., et al. Intergroup Ewing's Sarcoma Study: local control related to radiation dose, volume, and site of primary lesion in Ewing's sarcoma. *Cancer*. 1980;46(3):516-21.
72. Grier HE, Krailo MD, Tarbell NJ, Link MP, Fryer CJ, Pritchard DJ, et al. Addition of ifosfamide and etoposide to standard chemotherapy for Ewing's sarcoma and primitive neuroectodermal tumor of bone. *The New England journal of medicine*. 2003;348(8):694-701.
73. Juergens C, Weston C, Lewis I, Whelan J, Paulussen M, Oberlin O, et al. Safety assessment of intensive induction with vincristine, ifosfamide, doxorubicin, and etoposide (VIDE) in the treatment of Ewing tumors in the EURO-E.W.I.N.G. 99 clinical trial. *Pediatric blood & cancer*. 2006;47(1):22-9.
74. Paulussen M, Craft AW, Lewis I, Hackshaw A, Douglas C, Dunst J, et al. Results of the EICESS-92 Study: two randomized trials of Ewing's sarcoma treatment-cyclophosphamide compared with ifosfamide in standard-risk patients and assessment of benefit of etoposide added to standard treatment in high-risk patients. *Journal of clinical oncology : official journal of the American Society of Clinical Oncology*. 2008;26(27):4385-93.
75. Schuck A, Ahrens S, Paulussen M, Kahlen M, Konemann S, Rube C, et al. Local therapy in localized Ewing tumors: results of 1058 patients treated in the CESS 81, CESS 86, and EICESS 92 trials. *International journal of radiation oncology, biology, physics*. 2003;55(1):168-77.
76. Krasin MJ, Rodriguez-Galindo C, Davidoff AM, Billups CA, Fuller CE, Neel MD, et al. Efficacy of combined surgery

- and irradiation for localized Ewings sarcoma family of tumors. *Pediatric blood & cancer*. 2004;43(3):229-36.
77. Bacci G, Longhi A, Briccoli A, Bertoni F, Versari M, Picci P. The role of surgical margins in treatment of Ewing's sarcoma family tumors: experience of a single institution with 512 patients treated with adjuvant and neoadjuvant chemotherapy. *International journal of radiation oncology, biology, physics*. 2006;65(3):766-72.
  78. Samartzis D, Marco RA, Benjamin R, Vaporciyan A, Rhines LD. Multilevel en bloc spondylectomy and chest wall excision via a simultaneous anterior and posterior approach for Ewing sarcoma. *Spine*. 2005;30(7):831-7.
  79. Sharafuddin MJ, Haddad FS, Hitchon PW, Haddad SF, el-Khoury GY. Treatment options in primary Ewing's sarcoma of the spine: report of seven cases and review of the literature. *Neurosurgery*. 1992;30(4):610-8; discussion 8-9.
  80. Thiel U, Wawer A, Wolf P, Badoglio M, Santucci A, Klingebiel T, et al. No improvement of survival with reduced-versus high-intensity conditioning for allogeneic stem cell transplants in Ewing tumor patients. *Annals of oncology : official journal of the European Society for Medical Oncology / ESMO*. 2011;22(7):1614-21.
  81. Quiriny M, Gebhart M. Chondrosarcoma of the spine: a report of three cases and literature review. *Acta orthopaedica Belgica*. 2008;74(6):885-90.
  82. Fourney DR, Rhines LD, Hentschel SJ, Skibber JM, Wolinsky JP, Weber KL, et al. En bloc resection of primary sacral tumors: classification of surgical approaches and outcome. *Journal of neurosurgery Spine*. 2005;3(2):111-22.
  83. Stuckey RM, Marco RAW. Chondrosarcoma of the mobile spine and sacrum. *Sarcoma*. 2011;2011:1 - 4.
  84. Murphey MD, Walker EA, Wilson AJ, Kransdorf MJ, Temple HT, Gannon FH. From the archives of the AFIP: imaging of primary chondrosarcoma: radiologic-pathologic correlation. *Radiographics : a review publication of the Radiological Society of North America, Inc*. 2003;23(5):1245-78.
  85. Bertoni F, Bacchini P, Hogendoorn PC. Chondrosarcoma. In: Fletcher C, Unni KK, Mertens F, editors. *Pathology & Genetics; Tumors of Soft Tissue and Bone* Lyon: WHO, IARC Press; 2002. p. 247-51.
  86. Boriani S, De Iure F, Bandiera S, Campanacci L, Biagini R, Di Fiore M, et al. Chondrosarcoma of the mobile spine: report on 22 cases. *Spine*. 2000;25(7):804-12.
  87. Boriani S, Saravanja D, Yamada Y, Varga PP, Biagini R, Fisher CG. Challenges of local recurrence and cure in low grade malignant tumors of the spine. *Spine*. 2009;34(22 Suppl):S48-57.
  88. York JE, Berk RH, Fuller GN, Rao JS, Abi-Said D, Wildrick DM, et al. Chondrosarcoma of the spine: 1954 to 1997. *Journal of neurosurgery*. 1999;90(1 Suppl):73-8.
  89. Dantonello TM, Int-Veen C, Leuschner I, Schuck A, Furtwaengler R, Claviez A, et al. Mesenchymal chondrosarcoma of soft tissues and bone in children, adolescents, and young adults: experiences of the CWS and COSS study groups. *Cancer*. 2008;112(11):2424-31.
  90. Staals EL, Bacchini P, Mercuri M, Bertoni F. Dedifferentiated chondrosarcomas arising in preexisting osteochondromas. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2007;89(5):987-93.
  91. Sundaresan N, Rosen G, Huvos AG, Krol G. Combined treatment of osteosarcoma of the spine. *Neurosurgery*. 1988;23(6):714-9.
  92. Ilaslan H, Sundaram M, Unni KK, Shives TC. Primary vertebral osteosarcoma: imaging findings. *Radiology*. 2004;230(3):697-702.
  93. Hansen MF, Seton M, Merchant A. Osteosarcoma in Paget's disease of bone. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*. 2006;21(Suppl 2):58-63.
  94. Mukherjee D, Chaichana KL, Gokaslan ZL, Aaronson O, Cheng JS, McGirt MJ. Survival of patients with malignant primary osseous spinal neoplasms: results from the Surveillance, Epidemiology, and End Results (SEER) database from 1973 to 2003. *Journal of neurosurgery Spine*. 2011;14(2):143-50.
  95. Feng D, Yang X, Liu T, Xiao J, Wu Z, Huang Q, et al. Osteosarcoma of the spine: surgical treatment and outcomes. *World journal of surgical oncology*. 2013;11(1):89.
  96. Schoenfeld AJ, Hornicek FJ, Pedlow FX, Kobayashi W, Garcia RT, Delaney TF, et al. Osteosarcoma of the spine: experience in 26 patients treated at the Massachusetts General Hospital. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society*. 2010;10(8):708-14.
  97. Schwab J, Gasbarrini A, Bandiera S, Boriani L, Amendola L, Picci P, et al. Osteosarcoma of the mobile spine. *Spine*. 2012;37(6):E381-6.
  98. Ozaki T, Flege S, Liljenqvist U, Hillmann A, Delling G, Salzer-Kuntschik M, et al. Osteosarcoma of the spine: experience of the Cooperative Osteosarcoma Study Group. *Cancer*. 2002;94(4):1069-77.
  99. Gurney JG, Swensen AR, Bulterys M. Malignant bone tumors. In: Ries LA, Smith MA, Gurney JG, Linet M, Tamra T, Young JL, et al., editors. *Cancer Incidence and Survival Among Children and Adolescents: United States SEER Program 1975-1995* Bethesda: NIH Pub.; 1999. p. 99.
  100. Kawahara N, Tomita K, Fujita T, Maruo S, Otsuka S, Kinoshita G. Osteosarcoma of the thoracolumbar spine: total en bloc spondylectomy. A case report. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1997;79(3):453-8.
  101. Sciubba DM, Okuno SH, Dekutoski MB, Gokaslan ZL. Ewing and osteogenic sarcoma: evidence for multidisciplinary

management. *Spine*. 2009;34(22 Suppl):S58-68.

102. Liljenqvist U, Lerner T, Halm H, Buerger H, Gosheger G, Winkelmann W. En bloc spondylectomy in malignant tumors of the spine. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 2008;17(4):600-9.

103. Abe E, Kobayashi T, Murai H, Suzuki T, Chiba M, Okuyama K. Total spondylectomy for primary malignant, aggressive benign, and solitary metastatic bone tumors of the thoracolumbar spine. *Journal of spinal disorders*. 2001;14(3):237-46.

104. Anninga JK, Gelderblom H, Fiocco M, Kroep JR, Taminiau AH, Hogendoorn PC, et al. Chemotherapeutic adjuvant treatment for osteosarcoma: where do we stand? *European journal of cancer (Oxford, England : 1990)*. 2011;47(16):2431-45.

105. Kaushal A, Citrin D. The role of radiation therapy in the management of sarcomas. *The Surgical clinics of North America*. 2008;88(3):629-46, viii.

106. Weinstein JN, McLain RF. Primary tumors of the spine. *Spine*. 1987;12(9):843-51.

107. Hu K, Yahalom J. Radiotherapy in the management of plasma cell tumors. *Oncology (Williston Park, NY)*. 2000;14(1):101-8, 11; discussion 11-2, 15.

108. Dimopoulos MA, Mouloupoulos LA, Maniatis A, Alexanian R. Solitary plasmacytoma of bone and asymptomatic multiple myeloma. *Blood*. 2000;96(6):2037-44.

109. McLain RF, Weinstein JN. Solitary plasmacytomas of the spine: a review of 84 cases. *Journal of spinal disorders*. 1989;2(2):69-74.

110. Lyons MK, O'Neill BP, Marsh WR, Kurtin PJ. Primary spinal epidural non-Hodgkin's lymphoma: report of eight patients and review of the literature. *Neurosurgery*. 1992;30(5):675-80.

111. Li MH, Holtas S, Larsson EM. MR imaging of spinal lymphoma. *Acta radiologica (Stockholm, Sweden : 1987)*. 1992;33(4):338-42.

112. Hay MC, Paterson D, Taylor TK. Aneurysmal bone cysts of the spine. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 1978;60-b(3):406-11.

113. Cottalorda J, Kohler R, Sales de Gauzy J, Chotel F, Mazda K, Lefort G, et al. Epidemiology of aneurysmal bone cyst in children: a multicenter study and literature review. *Journal of pediatric orthopedics Part B*. 2004;13(6):389-94.

114. Martinez V, Sissons HA. Aneurysmal bone cyst. A review of 123 cases including primary lesions and those secondary to other bone pathology. *Cancer*. 1988;61(11):2291-304.

115. Munk PL, Helms CA, Holt RG, Johnston J, Steinbach L, Neumann C. MR imaging of aneurysmal bone cysts. *AJR American journal of roentgenology*. 1989;153(1):99-101.

116. Mahnken AH, Nolte-Ernsting CC, Wildberger JE, Heussen N, Adam G, Wirtz DC, et al. Aneurysmal bone cyst: value of MR imaging and conventional radiography. *European radiology*. 2003;13(5):1118-24.

117. Fletcher CDM. *Diagnostic histopathology of tumors*. Edinburgh ; New York: Churchill Livingstone; 1995.

118. Saccomanni B. Aneurysmal bone cyst of spine: a review of literature. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. 2008;128(10):1145-7.

119. Sundaram M, McDonald DJ, Steigman CK, Bocchini T. Metachronous multiple aneurysmal bone cysts. *Skeletal radiology*. 1997;26(9):564-7.

120. Pogoda P, Linhart W, Priemel M, Rueger JM, Amling M. Aneurysmal bone cysts of the sacrum. Clinical report and review of the literature. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. 2003;123(5):247-51.

121. Boriani S, De lure F, Campanacci L, Gasbarrini A, Bandiera S, Biagini R, et al. Aneurysmal bone cyst of the mobile spine: report on 41 cases. *Spine*. 2001;26(1):27-35.

122. Ozaki T, Halm H, Hillmann A, Blasius S, Winkelmann W. Aneurysmal bone cysts of the spine. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. 1999;119(3-4):159-62.

123. Papagelopoulos PJ, Currier BL, Shaughnessy WJ, Sim FH, Ebersold MJ, Bond JR, et al. Aneurysmal bone cyst of the spine. Management and outcome. *Spine*. 1998;23(5):621-8.

124. Turker RJ, Mardjetko S, Lubicky J. Aneurysmal bone cysts of the spine: excision and stabilization. *Journal of pediatric orthopedics*. 1998;18(2):209-13.

125. Green JA, Bellemore MC, Marsden FW. Embolization in the treatment of aneurysmal bone cysts. *Journal of pediatric orthopedics*. 1997;17(4):440-3.

126. Amendola L, Simonetti L, Simoes CE, Bandiera S, De lure F, Boriani S. Aneurysmal bone cyst of the mobile spine: the therapeutic role of embolization. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 2013;22(3):533-41.

127. Gladden ML, Jr., Gillingham BL, Hennrikus W, Vaughan LM. Aneurysmal bone cyst of the first cervical vertebrae in a child treated with percutaneous intralesional injection of calcitonin and methylprednisolone. A case report. *Spine*. 2000;25(4):527-30; discussion 31.

128. Tonomura ET, Ramos P, Hemais PM, Marchiori E, Gasparetto EL. Aneurysmal bone cyst at C2: imaging evaluation after intralesional injection of calcitonin and methylprednisolone. *Arquivos de neuro-psiquiatria*. 2008;66(3b):711-5.

129. Capanna R, Albisinni U, Picci P, Calderoni P, Campanacci M, Springfield DS. Aneurysmal bone cyst of the spine.

The Journal of bone and joint surgery American volume. 1985;67(4):527-31.

130. Ropper AE, Cahill KS, Hanna JW, McCarthy EF, Gokaslan ZL, Chi JH. Primary vertebral tumors: a review of epidemiologic, histological, and imaging findings, Part I: benign tumors. *Neurosurgery*. 2011;69(6):1171-80.
131. Parsa AT, Lee J, Parney IF, Weinstein P, McCormick PC, Ames C. Spinal cord and intradural-extraparenchymal spinal tumors: current best care practices and strategies. *Journal of neuro-oncology*. 2004;69(1-3):291-318.
132. Sciubba DM, Petteys RJ, Garcés-Ambrossi GL, Noggle JC, McGirt MJ, Wolinsky JP, et al. Diagnosis and management of sacral tumors. *Journal of Neurosurgery Spine*. 2009;10(3):244-56.
133. Klimo P, Jr., Rao G, Schmidt RH, Schmidt MH. Nerve sheath tumors involving the sacrum. Case report and classification scheme. *Neurosurgical focus*. 2003;15(2):E12.
134. Conti P, Pansini G, Mouchaty H, Capuano C, Conti R. Spinal neurinomas: retrospective analysis and long-term outcome of 179 consecutively operated cases and review of the literature. *Surgical neurology*. 2004;61(1):34-43; discussion 4.
135. Gomez Garcia I, Rodriguez Patron R, Conde Somoza S, Sanz Mayayo E, Quicios Dorado C, Palmeiro A. [Benign retroperitoneal schwannoma. Incidental diagnostic in patient with hematuria of the percussionist]. *Actas urológicas españolas*. 2005;29(5):511-5.
136. Aktug T, Hakguder G, Sarioglu S, Akgur FM, Olguner M, Pabuccuoglu U. Sacrococcygeal extraspinal ependymomas: the role of coccygectomy. *Journal of pediatric surgery*. 2000;35(3):515-8.
137. Sonneland PR, Scheithauer BW, Onofrio BM. Myxopapillary ependymoma. A clinicopathologic and immunocytochemical study of 77 cases. *Cancer*. 1985;56(4):883-93.
138. Fassett DR, Schmidt MH. Lumbosacral ependymomas: a review of the management of intradural and extradural tumors. *Neurosurgical focus*. 2003;15(5):E13.
139. Fourny DR, Fuller GN, Gokaslan ZL. Intraspinal extradural myxopapillary ependymoma of the sacrum arising from the filum terminale externa. Case report. *Journal of neurosurgery*. 2000;93(2 Suppl):322-6.
140. Hallacq P, Labrousse F, Streichenberger N, Lisii D, Fischer G. Bifocal myxopapillary ependymoma of the terminal filum: the end of a spectrum? Case report. *Journal of neurosurgery*. 2003;98(3 Suppl):288-9.
141. Mork SJ, Loken AC. Ependymoma: a follow-up study of 101 cases. *Cancer*. 1977;40(2):907-15.
142. Celli P, Cervoni L, Cantore G. Ependymoma of the filum terminale: treatment and prognostic factors in a series of 28 cases. *Acta neurochirurgica*. 1993;124(2-4):99-103.
143. Ross DA, McKeever PE, Sandler HM, Muraszko KM. Myxopapillary ependymoma. Results of nucleolar organizing region staining. *Cancer*. 1993;71(10):3114-8.
144. Waldron JN, Laperriere NJ, Jaakkimainen L, Simpson WJ, Payne D, Milosevic M, et al. Spinal cord ependymomas: a retrospective analysis of 59 cases. *International journal of radiation oncology, biology, physics*. 1993;27(2):223-9.
145. Chinn DM, Donaldson SS, Dahl GV, Wilson JD, Huhn SL, Fisher PG. Management of children with metastatic spinal myxopapillary ependymoma using craniospinal irradiation. *Medical and pediatric oncology*. 2000;35(4):443-5.
146. Gachiani J, Kim D, Nelson A, Kline D. Surgical management of malignant peripheral nerve sheath tumors. *Neurosurgical focus*. 2007;22(6):E13.
147. Gupta G, Maniker A. Malignant peripheral nerve sheath tumors. *Neurosurgical focus*. 2007;22(6):E12.
148. Kragha KO. Malignant Peripheral Nerve Sheath Tumor: MRI and CT Findings. *Case reports in radiology*. 2015;2015:241259.
149. Ng EW, Porcu P, Loehrer PJ, Sr. Sacrococcygeal teratoma in adults: case reports and a review of the literature. *Cancer*. 1999;86(7):1198-202.
150. Peh WC, Koh WL, Kwek JW, Htoo MM, Tan PH. Imaging of painful solitary lesions of the sacrum. *Australasian radiology*. 2007;51(6):507-15.
151. Wilson RD, Hedrick H, Flake AW, Johnson MP, Bebbington MW, Mann S, et al. Sacrococcygeal teratomas: prenatal surveillance, growth and pregnancy outcome. *Fetal diagnosis and therapy*. 2009;25(1):15-20.
152. Batukan C, Ozgun MT, Basbug M. First trimester diagnosis of sacrococcygeal teratoma using two- and three-dimensional ultrasound. *Journal of clinical ultrasound : JCU*. 2011;39(3):160-3.
153. Moore LK. Anatomía con orientación clínica. 7º ed. España: Lippincot Williams and Wilkins; 2007.
154. Drake R, Wayne A, Mitchell AWM. *Gray's Anatomy for Students*: Churchill Livingstone 2005.
155. Cramer GD, Ro CS. The Sacrum, Sacroiliac Joint, and Coccyx. In: Cramer GD, Darby SA, editors. *Basic and Clinical Anatomy of the Spine, Spinal Cord and ANS*. St. Louis, Missouri: Elsevier Health Sciences; 2005. p. 312-39.
156. Hassanein GH. Metric study of Egyptian sacrum for lumbo-sacral fixation procedures. *Clinical anatomy (New York, NY)*. 2011;24(2):218-24.
157. Wang Z, Parent S, Mac-Thiong JM, Petit Y, Labelle H. Influence of sacral morphology in developmental spondylolisthesis. *Spine*. 2008;33(20):2185-91.
158. Rengachary S. Surgical anatomy of the sacrum. In: Doty J, Rengachary S, editors. *Surgical Disorders of the Sacrum*. New York: Thieme Medical Publishers; 1994. p. 21-33.
159. Peretz AM, Hipp JA, Heggeness MH. The internal bony architecture of the sacrum. *Spine*. 1998;23(9):971-4.

160. Cheng JS, Song JK. Anatomy of the sacrum. *Neurosurgical focus*. 2003;15(2):E3.
161. Bussey MD, Milosavljevic S, Bell ML. Sex differences in the pattern of innominate motion during passive hip abduction and external rotation. *Man Ther*. 2009;14(5):514-9.
162. Chhaya S, White LM, Kandel R, Wunder JS, Ferguson P, Agur A. Transarticular invasion of bone tumours across the sacroiliac joint. *Skeletal radiology*. 2005;34(12):771-7.
163. Ozaki T, Rodl R, Gosheger G, Hoffmann C, Poremba C, Winkelmann W, et al. Sacral infiltration in pelvic sarcomas: joint infiltration analysis II. *Clinical orthopaedics and related research*. 2003(407):152-8.
164. Eichenseer PH, Sybert DR, Cotton JR. A finite element analysis of sacroiliac joint ligaments in response to different loading conditions. *Spine*. 2011;36(22):E1446-52.
165. Vleeming A, Pool-Goudzwaard AL, Hammudoghlu D, Stoeckart R, Snijders CJ, Mens JM. The function of the long dorsal sacroiliac ligament: its implication for understanding low back pain. *Spine*. 1996;21(5):556-62.
166. Bogduk N, Macintosh JE. The applied anatomy of the thoracolumbar fascia. *Spine*. 1984;9(2):164-70.
167. Vleeming A, Pool-Goudzwaard AL, Stoeckart R, van Wingerden JP, Snijders CJ. The posterior layer of the thoracolumbar fascia. Its function in load transfer from spine to legs. *Spine*. 1995;20(7):753-8.
168. Aranda-Narváez JM, González-Sánchez AJ, Montiel-Casado C, Sánchez-Pérez B, Jiménez-Mazure C, Valle-Carbajo M, et al. Posterior approach (Kraske procedure) for surgical treatment of presacral tumors. *World journal of gastroenterology*. 2012;4(5):126-30.
169. Vaccaro AR, Kepler CK, Rihn JA, Suzuki H, Ratliff JK, Harrop JS, et al. Anatomical relationships of the anterior blood vessels to the lower lumbar intervertebral discs: analysis based on magnetic resonance imaging of patients in the prone position. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2012;94(12):1088-94.
170. Capellades J, Pellise F, Rovira A, Grive E, Pedraza S, Villanueva C. Magnetic resonance anatomic study of iliocava junction and left iliac vein positions related to L5-S1 disc. *Spine*. 2000;25(13):1695-700.
171. Waikakul S, Chandraphak S, Sangthongsil P. Anatomy of L4 to S3 nerve roots. *Journal of orthopaedic surgery (Hong Kong)*. 2010;18(3):352-5.
172. Kapandji JA. Cuadernos de fisiología articular. Tronco y raquis. Masson S.A. ed. Madrid 1991.
173. Beal MC. The sacroiliac problem: review of anatomy, mechanics, and diagnosis. *J Am Osteopath Assoc*. 1982;81(10):667-79.
174. Kissling RO, Jacob HA. The mobility of the sacroiliac joint in healthy subjects. *Bull Hosp Jt Dis*. 1996;54(3):158-64.
175. Stuessen B, Uden A, Vleeming A. A radiostereometric analysis of movements of the sacroiliac joints during the standing hip flexion test. *Spine*. 2000;25(3):364-8.
176. Stuessen B, Selvik G, Uden A. Movements of the sacroiliac joints. A roentgen stereophotogrammetric analysis. *Spine*. 1989;14(2):162-5.
177. Lavignolle B, Vital JM, Senegas J, Destandau J, Toson B, Bouyx P, et al. An approach to the functional anatomy of the sacroiliac joints in vivo. *Anatomia clinica*. 1983;5(3):169-76.
178. Schamberger W. Common presentations and diagnostic techniques. *The malalignment syndrome*. 2nd ed: Churchill Livingstone; 2012.
179. Zhang HY, Thongtrangan I, Balabhadra RS, Murovic JA, Kim DH. Surgical techniques for total sacrectomy and spinopelvic reconstruction. *Neurosurgical focus*. 2003;15(2):E5.
180. Zhang H, Kim HD. Surgical Anatomy and Approaches to Lumbosacral Junction and Sacrum. In: Kim HD, Vaccaro AR, Fessler RG, editors. *Spinal Instrumentation Surgical techniques*. New York: Thieme Medical Publishers; 2005. p. 1067-83.
181. Percy MJ, Tibrewal SB. Lumbar intervertebral disc and ligament deformations measured in vivo. *Clinical orthopaedics and related research*. 1984(191):281-6.
182. Becker I, Woodley SJ, Stringer MD. The adult human pubic symphysis: a systematic review. *Journal of anatomy*. 2010;217(5):475-87.
183. Snijders CJ, Vleeming A, Stoeckart R. Transfer of lumbosacral load to iliac bones and legs Part 2: Loading of the sacroiliac joints when lifting in a stooped posture. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*. 1993;8(6):295-301.
184. Vleeming A, Stoeckart R, Volkers AC, Snijders CJ. Relation between form and function in the sacroiliac joint. Part I: Clinical anatomical aspects. *Spine*. 1990;15(2):130-2.
185. Snijders CJ, Vleeming A, Stoeckart R. Transfer of lumbosacral load to iliac bones and legs Part 1: Biomechanics of self-bracing of the sacroiliac joints and its significance for treatment and exercise. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*. 1993;8(6):285-94.
186. van Wingerden JP, Vleeming A, Snijders CJ, Stoeckart R. A functional-anatomical approach to the spine-pelvis mechanism: interaction between the biceps femoris muscle and the sacrotuberous ligament. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 1993;2(3):140-4.
187. Pool-Goudzwaard AL, Vleeming A, Stoeckart R, Snijders CJ, Mens JM. Insufficient lumbopelvic stability: a clinical, anatomical and biomechanical approach to 'a-specific' low back pain. *Man Ther*. 1998;3(1):12-20.

188. Rose PS. Oncologic Sacrectomy. *Surgical Atlas of Spinal Operations*: JP Medical Publishers; 2013. p. 473-84.
189. Davidge KM, Eskicioglu C, Lipa J, Ferguson P, Swallow CJ, Wright FC. Qualitative assessment of patient experiences following sacrectomy. *Journal of surgical oncology*. 2010;101(6):447-50.
190. Gokaslan ZL, Hsu W. Surgical Resection of Sacral Tumors. *Schmidek and Sweet's Operative Neurosurgical Techniques*. Sixth ed: Quinones-Hinojosa, A.; 2012. p. 2201- 16.
191. Neff JR. Technique of subtotal and total sacral amputation for neoplasm. In: Doty JR, Rengachary SS, editors. *Surgical Disorders of the Sacrum*. New York: Thieme Medical Publishers; 1994. p. 266-78.
192. Sabuncuoglu H, Ozdogan S, Dogan H, Ataoglu O, Timurkaynak E. Total resection of inferiorly located sacral chordoma with posterior only approach: case report and review of the literature. *Turkish neurosurgery*. 2010;20(4):527-32.
193. Guo W, Tang X, Zang J, Ji T. One-stage total en bloc sacrectomy: a novel technique and report of 9 cases. *Spine*. 2013;38(10):E626-31.
194. Clarke MJ, Dasenbrock H, Bydon A, Sciubba DM, McGirt MJ, Hsieh PC, et al. Posterior-only approach for en bloc sacrectomy: clinical outcomes in 36 consecutive patients. *Neurosurgery*. 2012;71(2):357-64; discussion 64.
195. Asavamongkolkul A, Waikakul S. Wide resection of sacral chordoma via a posterior approach. *International orthopaedics*. 2012;36(3):607-12.
196. Starantzis KA, Sakellariou VI, Rose PS, Yaszemski MJ, Papagelopoulos PJ. A new type of reconstruction of the hemipelvis after type 3 amputative sacrectomy using pedicled fibula: technical note. *Journal of neurosurgery Spine*. 2014;21(2):195-202.
197. Dickey ID, Hugate RR, Jr., Fuchs B, Yaszemski MJ, Sim FH. Reconstruction after total sacrectomy: early experience with a new surgical technique. *Clinical orthopaedics and related research*. 2005;438:42-50.
198. Li D, Guo W, Qu H, Yang R, Tang X, Yan T, et al. Experience with wound complications after surgery for sacral tumors. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 2013;22(9):2069-76.
199. Li D, Guo W, Tang X, Ji T, Zhang Y. Surgical classification of different types of en bloc resection for primary malignant sacral tumors. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 2011;20(12):2275-81.
200. Enneking WF, Spanier SS, Goodman MA. A system for the surgical staging of musculoskeletal sarcoma. *Clinical orthopaedics and related research*. 1980(153):106-20.
201. Boriani S, Biagini R, De Iure F, Bertoni F, Malaguti MC, Di Fiore M, et al. En bloc resections of bone tumors of the thoracolumbar spine. A preliminary report on 29 patients. *Spine*. 1996;21(16):1927-31.
202. Zhang Z, Hua Y, Li G, Sun W, Hu S, Li J, et al. Preliminary proposal for surgical classification of sacral tumors. *Journal of neurosurgery Spine*. 2010;13(5):651-8.
203. Weaver JM, Flynn MB. Hemicorporectomy. *Journal of surgical oncology*. 2000;73(2):117-24.
204. Zoccali C, Skoch J, Patel A, Walter CM, Maykowski P, Baaj AA. The surgical neurovascular anatomy relating to partial and complete sacral and sacroiliac resections: a cadaveric, anatomic study. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 2015;24(5):1109-13.
205. Dozois EJ, Wall JC, Spinner RJ, Jacofsky DJ, Yaszemski MJ, Sim FH, et al. Neurogenic tumors of the pelvis: clinicopathologic features and surgical outcomes using a multidisciplinary team. *Annals of surgical oncology*. 2009;16(4):1010-6.
206. Ramamurthy R, Bose JC, Muthusamy V, Natarajan M, Kunjithapatham D. Staged sacrectomy—an adaptive approach. *Journal of neurosurgery Spine*. 2009;11(3):285-94.
207. Raque GH, Jr., Vitaz TW, Shields CB. Treatment of neoplastic diseases of the sacrum. *Journal of surgical oncology*. 2001;76(4):301-7.
208. Harrison SJ. Sacrectomy. In: Doty J, Rengachary S, editors. *Surgical Disorders of the Sacrum*. New York: Thieme Medical Publishers; 1994. p. 279-93.
209. Mac CC, Waugh JM, Mayo CW, Coventry MB. The surgical treatment of presacral tumors: a combined problem. *Proceedings of the staff meetings Mayo Clinic*. 1952;27(4):73-84.
210. McCormick PC, Post KD. Surgical approaches to the sacrum. In: Doty JR, Rengachary SS, editors. *Surgical Disorders of the Sacrum*. New York: Thieme Medical Publishers; 1994. p. 257-65.
211. Varga PP, Bors I, Lazary A. Sacral tumors and management. *The Orthopedic clinics of North America*. 2009;40(1):105-23, vii.
212. Angelini A, Ruggieri P. A new surgical technique (modified Osaka technique) of sacral resection by posterior-only approach: description and preliminary results. *Spine*. 2013;38(3):E185-92.
213. Li D, Guo W, Tang X, Yang R, Tang S, Qu H, et al. Preservation of the contralateral sacral nerves during hemisacrectomy for sacral malignancies. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 2014;23(9):1933-9.
214. Ham SJ, Schraffordt Koops H, Veth RP, van Horn JR, Eisma WH, Hoekstra HJ. External and internal hemipelvectomy for sarcomas of the pelvic girdle: consequences of limb-salvage treatment. *European journal of surgical oncology : the journal*

- of the European Society of Surgical Oncology and the British Association of Surgical Oncology. 1997;23(6):540-6.
215. Miles WK, Chang DW, Kroll SS, Miller MJ, Langstein HN, Reece GP, et al. Reconstruction of large sacral defects following total sacrectomy. *Plastic and reconstructive surgery*. 2000;105(7):2387-94.
216. Varga PP, Szoverfi Z, Lazary A. Surgical treatment of primary malignant tumors of the sacrum. *Neurological research*. 2014;36(6):577-87.
217. Reynolds JJ, Khundkar R, Boriani S, Williams R, Rhines LD, Kawahara N, et al. Soft Tissue and Bone Defect Management in Total Sacrectomy for Primary Sacral Tumors: A Systematic Review With Expert Recommendations. *Spine*. 2016;41 Suppl 20:S199-s204.
218. Kim JE, Pang J, Christensen JM, Coon D, Zadnik PL, Wolinsky JP, et al. Soft-tissue reconstruction after total en bloc sacrectomy. *Journal of neurosurgery Spine*. 2015;22(6):571-81.
219. Junge K, Krones CJ, Rosch R, Fackeldey V, Schumpelick V. Mesh reconstruction preventing sacral herniation. *Hernia*. 2003;7(4):224-6.
220. Garvey PB, Rhines LD, Feng L, Gu X, Butler CE. Reconstructive strategies for partial sacrectomy defects based on surgical outcomes. *Plastic and reconstructive surgery*. 2011;127(1):190-9.
221. Koh PK, Tan BK, Hong SW, Tan MH, Tay AG, Song C, et al. The gluteus maximus muscle flap for reconstruction of sacral chordoma defects. *Annals of plastic surgery*. 2004;53(1):44-9.
222. Ramirez OM, Swartz WM, Futrell JW. The gluteus maximus muscle: Experimental and clinical considerations relevant to reconstruction in ambulatory patients. *Br J Plast Surg*. 1987;40(1):1-10.
223. Diaz J, McDonald S, Armstrong M, Elsmont F, Hellinger M, Thaller S. Reconstruction after extirpation of sacral malignancies. *Annals of plastic surgery*. 2002;51(2):127-9.
224. Singh K, Samartzis D, Heller JG, An HS, Vaccaro AR. The management of complex soft-tissue defects after spinal instrumentation. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 2006;88(1):8-15.
225. Gaster RS, Bhatt KA, Shelton AA, Lee GK. Free transverse rectus abdominis myocutaneous flap reconstruction of a massive lumbosacral defect using superior gluteal artery perforator vessels. *Microsurgery*. 2012;32(5):388-92.
226. Micheau P. The greater omentum. Its role in reconstructive plastic surgery. *Ann Chir Plast Esthet*. 1995;40(2):192-207.
227. Lechner P, Cesnik H. Abdominopelvic omentopexy: preparatory procedure for radiotherapy in rectal cancer. *Diseases of the colon and rectum*. 1992;35(12):1157-60.
228. Choi HJ, Lee HS. Effect of omental pedicle hammock in protection against radiation-induced enteropathy in patients with rectal cancer. *Diseases of the colon and rectum*. 1995;38(3):276-80.
229. O'Shaughnessy BA, Dumanian GA, Liu JC, Ganju A, Ondra SL. Pedicled omental flaps as an adjunct in the closure of complex spinal wounds. *Spine*. 2007;32(26):3074-80.
230. Gunterberg B. Effects of major resection of the sacrum. Clinical studies on urogenital and anorectal function and a biomechanical study on pelvic strength. *Acta orthopaedica Scandinavica Supplementum*. 1976;162:1-38.
231. Hugate RR, Jr., Dickey ID, Phimolsarnti R, Yaszemski MJ, Sim FH. Mechanical effects of partial sacrectomy: when is reconstruction necessary? *Clinical orthopaedics and related research*. 2006;450:82-8.
232. Yu B, Zheng Z, Zhuang X, Chen H, Xie D, Luk KD, et al. Biomechanical effects of transverse partial sacrectomy on the sacroiliac joints: an in vitro human cadaveric investigation of the borderline of sacroiliac joint instability. *Spine*. 2009;34(13):1370-5.
233. Gunterberg B, Romanus B, Stener B. Pelvic strength after major amputation of the sacrum. An experimental study. *Acta orthopaedica Scandinavica*. 1976;47(6):635-42.
234. Nassif NA, Buchowski JM, Osterman K, McDonald DJ. Surgical technique: Iliosacral reconstruction with minimal spinal instrumentation. *Clinical orthopaedics and related research*. 2013;471(3):947-55.
235. Court C, Bosca L, Le Cesne A, Nordin JY, Missenard G. Surgical excision of bone sarcomas involving the sacroiliac joint. *Clinical orthopaedics and related research*. 2006;451:189-94.
236. Wang J, Tang Q, Xie X, Yin J, Zhao Z, Li Z, et al. Iliosacral resections of pelvic malignant tumors and reconstruction with nonvascular bilateral fibular autografts. *Annals of surgical oncology*. 2012;19(13):4043-51.
237. Bederman SS, Shah KN, Hassan JM, Hoang BH, Kiester PD, Bhatia NN. Surgical techniques for spinopelvic reconstruction following total sacrectomy: a systematic review. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 2014;23(2):305-19.
238. Kawahara N, Murakami H, Yoshida A, Sakamoto J, Oda J, Tomita K. Reconstruction after total sacrectomy using a new instrumentation technique: a biomechanical comparison. *Spine*. 2003;28(14):1567-72.
239. Ruggieri P, Angelini A, Ussia G, Montalti M, Mercuri M. Surgical margins and local control in resection of sacral chordomas. *Clinical orthopaedics and related research*. 2010;468(11):2939-47.
240. Guo Y, Yadav R. Improving function after total sacrectomy by using a lumbar-sacral corset. *American journal of physical medicine & rehabilitation / Association of Academic Physiatrists*. 2002;81(1):72-6.
241. Santos ER, Rosner MK, Perra JH, Polly DW, Jr. Spinopelvic fixation in deformity: a review. *Neurosurgery clinics of*

North America. 2007;18(2):373-84.

242. Harrington PR. Treatment of scoliosis. Correction and internal fixation by spine instrumentation. The Journal of bone and joint surgery American volume. 1962;44-a:591-610.
243. Balderston RA, Winter RB, Moe JH, Bradford DS, Lonstein JE. Fusion to the sacrum for nonparalytic scoliosis in the adult. Spine. 1986;11(8):824-9.
244. Luque ER. Segmental spinal instrumentation for correction of scoliosis. Clinical orthopaedics and related research. 1982(163):192-8.
245. Boachie-Adjei O, Lonstein JE, Winter RB, Koop S, vanden Brink K, Denis F. Management of neuromuscular spinal deformities with Luque segmental instrumentation. The Journal of bone and joint surgery American volume. 1989;71(4):548-62.
246. Moshirfar A, Rand FF, Sponseller PD, Parazin SJ, Khanna AJ, Kebaish KM, et al. Pelvic fixation in spine surgery. Historical overview, indications, biomechanical relevance, and current techniques. The Journal of bone and joint surgery American volume. 2005;87 Suppl 2:89-106.
247. King AG, Thomas KA, Eiserloh HL, 3rd, Mills TE, Pisciotta DN. Analysis of the STIF technique for spino-pelvic fixation: clinical results in 19 patients with neuromuscular scoliosis. Journal of pediatric orthopedics. 2000;20(5):667-76.
248. Cotrel Y, Dubousset J, Guillaumat M. New universal instrumentation in spinal surgery. Clinical orthopaedics and related research. 1988;227:10-23.
249. Devlin VJ, Boachie-Adjei O, Bradford DS, Ogilvie JW, Transfeldt EE. Treatment of adult spinal deformity with fusion to the sacrum using CD instrumentation. Journal of spinal disorders. 1991;4(1):1-14.
250. Allen BL, Jr., Ferguson RL. The Galveston technique for L rod instrumentation of the scoliotic spine. Spine. 1982;7(3):276-84.
251. Ogilvie JW, Bradford DS. Sublaminar fixation in lumbosacral fusions. Clinical orthopaedics and related research. 1991(269):157-61.
252. Peelle MW, Lenke LG, Bridwell KH, Sides B. Comparison of pelvic fixation techniques in neuromuscular spinal deformity correction: Galveston rod versus iliac and lumbosacral screws. Spine. 2006;31(20):2392-8; discussion 9.
253. Jackson RJ, Gokaslan ZL. Spinal-pelvic fixation in patients with lumbosacral neoplasms. Journal of neurosurgery. 2000;92(1 Suppl):61-70.
254. Yu BS, Zhuang XM, Li ZM, Zheng ZM, Zhou ZY, Zou XN, et al. Biomechanical effects of the extent of sacrectomy on the stability of lumbo-iliac reconstruction using iliac screw techniques: What level of sacrectomy requires the bilateral dual iliac screw technique? Clinical biomechanics (Bristol, Avon). 2010;25(9):867-72.
255. Yu BS, Zhuang XM, Zheng ZM, Li ZM, Wang TP, Lu WW. Biomechanical advantages of dual over single iliac screws in lumbo-iliac fixation construct. European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society. 2010;19(7):1121-8.
256. Varga PP. Spinopelvic Reconstruction/Fixation and fusion. In: Vialle LR, Gokaslan ZL, Fisher CG, Boriani S, editors. AOSpine Master Series. 2. New York: Thieme Medical Publishers; 2015. p. 147-57.
257. Spiegel DA, Richardson WJ, Scully SP, Harrelson JM. Long-term survival following total sacrectomy with reconstruction for the treatment of primary osteosarcoma of the sacrum. A case report. The Journal of bone and joint surgery American volume. 1999;81(6):848-55.
258. Salehi SA, McCafferty RR, Karahalios D, Ondra SL. Neural function preservation and early mobilization after resection of metastatic sacral tumors and lumbosacropelvic junction reconstruction. Report of three cases. Journal of neurosurgery. 2002;97(1 Suppl):88-93.
259. Gallia GL, Haque R, Garonzik I, Witham TF, Khavkin YA, Wolinsky JP, et al. Spinal pelvic reconstruction after total sacrectomy for en bloc resection of a giant sacral chordoma. Technical note. Journal of neurosurgery Spine. 2005;3(6):501-6.
260. McLoughlin GS, Sciubba DM, Suk I, Witham T, Bydon A, Gokaslan ZL, et al. En bloc total sacrectomy performed in a single stage through a posterior approach. Neurosurgery. 2008;63(1 Suppl 1):ONS115-20; discussion ONS20.
261. Shen FH, Harper M, Foster WC, Marks I, Arlet V. A novel "four-rod technique" for lumbo-pelvic reconstruction: theory and technical considerations. Spine. 2006;31(12):1395-401.
262. Kelly BP, Shen FH, Schwab JS, Arlet V, Diangelo DJ. Biomechanical testing of a novel four-rod technique for lumbo-pelvic reconstruction. Spine. 2008;33(13):E400-6.
263. Hyun SJ, Lenke LG, Kim YC, Koester LA, Blanke KM. Comparison of standard 2-rod constructs to multiple-rod constructs for fixation across 3-column spinal osteotomies. Spine. 2014;39(22):1899-904.
264. Sudo H, Ito M, Kaneda K, Shono Y, Abumi K. Long-term outcomes of anterior dual-rod instrumentation for thoracolumbar and lumbar curves in adolescent idiopathic scoliosis: a twelve to twenty-three-year follow-up study. The Journal of bone and joint surgery American volume. 2013;95(8):e49.
265. Chang DW, Friel MT, Youssef AA. Reconstructive strategies in soft tissue reconstruction after resection of spinal neoplasms. Spine. 2007;32(10):1101-6.
266. Murakami H, Kawahara N, Tomita K, Sakamoto J, Oda J. Biomechanical evaluation of reconstructed lumbosacral spine after total sacrectomy. Journal of orthopaedic science : official journal of the Japanese Orthopaedic Association.

2002;7(6):658-64.

267. Doita M, Harada T, Iguchi T, Sumi M, Sha H, Yoshiya S, et al. Total sacrectomy and reconstruction for sacral tumors. *Spine*. 2003;28(15):E296-301.
268. Gallia GL, Suk I, Witham TF, Gearhart SL, Black JH, 3rd, Redett RJ, et al. Lumbopelvic reconstruction after combined L5 spondylectomy and total sacrectomy for en bloc resection of a malignant fibrous histiocytoma. *Neurosurgery*. 2010;67(2):E498-502.
269. Cheng L, Yu Y, Zhu R, Lv H, Jia Y, Zeng Z, et al. Structural stability of different reconstruction techniques following total sacrectomy: a biomechanical study. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*. 2011;26(10):977-81.
270. Yu Y, Zhu R, Zeng ZL, Jia YW, Wu ZR, Ren YL, et al. The strain at bone-implant interface determines the effect of spinopelvic reconstruction following total sacrectomy: a strain gauge analysis in various spinopelvic constructs. *PLoS one*. 2014;9(1):e85298.
271. Le VH, Heckmann N, Jain N, Wang L, Turner AWW, Lee TQ, et al. Biomechanical evaluation of supplemental percutaneous lumbo-sacro-iliac screws for spinopelvic fixation following total sacrectomy. *Journal of spinal disorders & techniques*. 2015;28(4):E181-5.
272. Mindea SA, Chinthakunta S, Moldavsky M, Gudipally M, Khalil S. Biomechanical comparison of spinopelvic reconstruction techniques in the setting of total sacrectomy. *Spine*. 2012;37(26):E1622-7.
273. Clark AJ, Tang JA, Leasure JM, Ivan ME, Kondrashov D, Buckley JM, et al. Gait-simulating fatigue loading analysis and sagittal alignment failure of spinal pelvic reconstruction after total sacrectomy: comparison of 3 techniques. *Journal of neurosurgery Spine*. 2014;20(4):364-70.
274. Wuisman P, Lieshout O, van Dijk M, van Diest P. Reconstruction after total en bloc sacrectomy for osteosarcoma using a custom-made prosthesis: a technical note. *Spine*. 2001;26(4):431-9.
275. Chang DW, Weber KL. Segmental femur reconstruction using an intercalary allograft with an intramedullary vascularized fibula bone flap. *J Reconstr Microsurg*. 2004;20(3):195-9.
276. Chang DW, Weber KL. Use of a vascularized fibula bone flap and intercalary allograft for diaphyseal reconstruction after resection of primary extremity bone sarcomas. *Plastic and reconstructive surgery*. 2005;116(7):1918-25.
277. Yajima H, Tamai S, Mizumoto S, Inada Y. Vascularized fibular grafts in the treatment of osteomyelitis and infected nonunion. *Clinical orthopaedics and related research*. 1993(293):256-64.
278. Weiland AJ, Weiss AP, Moore JR, Tolo VT. Vascularized fibular grafts in the treatment of congenital pseudarthrosis of the tibia. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1990;72(5):654-62.
279. Sakuraba M, Kimata Y, Iida H, Beppu Y, Chuman H, Kawai A. Pelvic ring reconstruction with the double-barreled vascularized fibular free flap. *Plastic and reconstructive surgery*. 2005;116(5):1340-5.
280. Oshima Y, Miyoshi K, Mikami Y, Kawamura N. Pelvic ring reconstruction with a vascularized pedicle iliac bone graft for a large sacral schwannoma. *Journal of spinal disorders & techniques*. 2005;18(2):200-2.
281. Yamamoto Y, Takeda N, Sugihara T. Pelvic ring reconstruction with a vascularized bone flap of femur. *Plastic and reconstructive surgery*. 1997;100(2):415-7.
282. Choudry UH, Moran SL, Karacor Z. Functional reconstruction of the pelvic ring with simultaneous bilateral free fibular flaps following total sacral resection. *Annals of plastic surgery*. 2006;57(6):673-6.
283. Belt PJ, Dickinson IC, Theile DR. Vascularised free fibular flap in bone resection and reconstruction. *Br J Plast Surg*. 2005;58(4):425-30.
284. Chang DW, Fortin AJ, Oates SD, Lewis VO. Reconstruction of the pelvic ring with vascularized double-strut fibular flap following internal hemipelvectomy. *Plastic and reconstructive surgery*. 2008;121(6):1993-2000.
285. Yajima H, Tamai S. Twin-barrelled vascularized fibular grafting to the pelvis and lower extremity. *Clinical orthopaedics and related research*. 1994(303):178-84.
286. Nagoya S, Usui M, Wada T, Yamashita T, Ishii S. Reconstruction and limb salvage using a free vascularised fibular graft for periacetabular malignant bone tumours. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 2000;82(8):1121-4.
287. Verlaan JJ, Kuperus JS, Slooff WB, Hennipman A, Oner FC. Complications, secondary interventions and long term morbidity after en bloc sacrectomy. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 2015;24(10):2209-19.
288. Sherman CE, Rose PS, Pierce LL, Yaszemski MJ, Sim FH. Prospective assessment of patient morbidity from prone sacral positioning. *Journal of neurosurgery Spine*. 2012;16(1):51-6.
289. Sciubba DM, Nelson C, Gok B, McGirt MJ, McLoughlin GS, Noggle JC, et al. Evaluation of factors associated with postoperative infection following sacral tumor resection. *Journal of neurosurgery Spine*. 2008;9(6):593-9.
290. Weinstein MA, McCabe JP, Cammisa FP, Jr. Postoperative spinal wound infection: a review of 2,391 consecutive index procedures. *Journal of spinal disorders*. 2000;13(5):422-6.
291. Olsen MA, Nepple JJ, Riew KD, Lenke LG, Bridwell KH, Mayfield J, et al. Risk factors for surgical site infection following orthopaedic spinal operations. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2008;90(1):62-9.
292. Tang X, Guo W, Yang R, Tang S, Ji T. Risk factors for blood loss during sacral tumor resection. *Clinical orthopaedics*

and related research. 2009;467(6):1599-604.

293. Devin C, Chong PY, Holt GE, Feurer I, Gonzalez A, Merchant N, et al. Level-adjusted perioperative risk of sacral amputations. *Journal of surgical oncology*. 2006;94(3):203-11.
294. Mi C, Lu H, Liu H. Surgical excision of sacral tumors assisted by occluding the abdominal aorta with a balloon dilation catheter: a report of 3 cases. *Spine*. 2005;30(20):E614-6.
295. Zhang L, Gong Q, Xiao H, Tu C, Liu J. Control of blood loss during sacral surgery by aortic balloon occlusion. *Anesthesia and analgesia*. 2007;105(3):700-3.
296. Chen KW, Yang HL, Lu J, Wang GL, Ji YM, Bao ZH, et al. Risk factors for postoperative wound infections of sacral chordoma after surgical excision. *Journal of spinal disorders & techniques*. 2011;24(4):230-4.
297. Zileli M, Hoscoskun C, Brastianos P, Sabah D. Surgical treatment of primary sacral tumors: complications associated with sacrectomy. *Neurosurgical focus*. 2003;15(5):E9.
298. Persson BM, Wouters HW. Curettage and acrylic cementation in surgery of giant cell tumors of bone. *Clinical orthopaedics and related research*. 1976(120):125-33.
299. Althausen PL, Schneider PD, Bold RJ, Gupta MC, Goodnight JE, Jr., Khatri VP. Multimodality management of a giant cell tumor arising in the proximal sacrum: case report. *Spine*. 2002;27(15):E361-5.
300. Yamazaki T, McLoughlin GS, Patel S, Rhines LD, Fourny DR. Feasibility and safety of en bloc resection for primary spine tumors: a systematic review by the Spine Oncology Study Group. *Spine*. 2009;34(22 Suppl):S31-8.
301. Bergh P, Gunterberg B, Meis-Kindblom JM, Kindblom LG. Prognostic factors and outcome of pelvic, sacral, and spinal chondrosarcomas: a center-based study of 69 cases. *Cancer*. 2001;91(7):1201-12.
302. Varga PP, Szoverfi Z, Fisher CG, Boriani S, Gokaslan ZL, Dekutoski MB, et al. Surgical treatment of sacral chordoma: prognostic variables for local recurrence and overall survival. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 2015;24(5):1092-101.
303. Baratti D, Gronchi A, Pennacchioli E, Lozza L, Coecchia M, Fiore M, et al. Chordoma: natural history and results in 28 patients treated at a single institution. *Annals of surgical oncology*. 2003;10(3):291-6.
304. Angelini A, Pala E, Calabro T, Maraldi M, Ruggieri P. Prognostic factors in surgical resection of sacral chordoma. *Journal of surgical oncology*. 2015;112(4):344-51.
305. Hanna SA, Aston WJ, Briggs TW, Cannon SR, Saifuddin A. Sacral chordoma: can local recurrence after sacrectomy be predicted? *Clinical orthopaedics and related research*. 2008;466(9):2217-23.
306. Hulen CA, Temple HT, Fox WP, Sama AA, Green BA, Eismont FJ. Oncologic and functional outcome following sacrectomy for sacral chordoma. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2006;88(7):1532-9.
307. Yonemoto T, Tazaki S, Takenouchi T, Ishii T, Satoh T, Moriya H. The surgical management of sacrococcygeal chordoma. *Cancer*. 1999;85:878-83.
308. York JE, Kaczaraj A, Abi-Said D, Fuller GN, Skibber JM, Janjan NA, et al. Sacral chordoma: 40-year experience at a major cancer center. *Neurosurgery*. 1999;44(1):74-9; discussion 9-80.
309. Kayani B, Sewell MD, Tan KA, Hanna SA, Williams R, Pollock R, et al. Prognostic Factors in the Operative Management of Sacral Chordomas. *World neurosurgery*. 2015;84(5):1354-61.
310. van Wulfften Palthe OD, Houdek MT, Rose PS, Yaszemski MJ, Sim FH, Boland PJ, et al. How Does the Level of Nerve Root Resection in En Bloc Sacrectomy Influence Patient-Reported Outcomes? *Clinical orthopaedics and related research*. 2016.
311. Todd LT, Jr., Yaszemski MJ, Currier BL, Fuchs B, Kim CW, Sim FH. Bowel and bladder function after major sacral resection. *Clinical orthopaedics and related research*. 2002(397):36-9.
312. Fujimura Y, Maruiwa H, Takahata T, Toyama Y. Neurological evaluation after radical resection of sacral neoplasms. *Paraplegia*. 1994;32(6):396-406.
313. Biagini R, Ruggieri P, Mercuri M, Capanna R, Briccoli A, Perin S, et al. Neurologic deficit after resection of the sacrum. *La Chirurgia degli organi di movimento*. 1997;82(4):357-72.
314. Nakai S, Yoshizawa H, Kobayashi S, Maeda K, Okumura Y. Anorectal and bladder function after sacrifice of the sacral nerves. *Spine*. 2000;25(17):2234-9.
315. Gunterberg B, Norlen L, Stener B, Sundin T. Neurourologic evaluation after resection of the sacrum. *Investigative urology*. 1975;13(3):183-8.
316. Zoccali C, Skoch J, Patel AS, Walter CM, Maykowski P, Baaj AA. Residual neurological function after sacral root resection during en-bloc sacrectomy: a systematic review. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 2016.
317. Gunterberg B, Kewenter J, Petersen I, Stener B. Anorectal function after major resections of the sacrum with bilateral or unilateral sacrifice of sacral nerves. *The British journal of surgery*. 1976;63(7):546-54.
318. Gunterberg B, Petersen I. Sexual function after major resections of the sacrum with bilateral or unilateral sacrifice of sacral nerves. *Fertility and sterility*. 1976;27(10):1146-53.
319. Guo Y, Palmer JL, Shen L, Kaur G, Willey J, Zhang T, et al. Bowel and bladder continence, wound healing, and

- functional outcomes in patients who underwent sacrectomy. *Journal of neurosurgery Spine*. 2005;3(2):106-10.
320. Hatakeyama K. Rectum and anal canal. In: Koyanagi H, Matsuno M, Kitajima M, editors. *Standard Textbook Hyojyungekagaku*. 8th ed. Tokyo: Igakushoin; 1998. p. 573.
321. Andreoli F, Balloni F, Bigiotti A, Lombardi P, Pernice LM, Ronchi O, et al. Anorectal continence and bladder function. Effects of major sacral resection. *Diseases of the colon and rectum*. 1986;29(10):647-52.
322. Gennari L, Azzarelli A, Quagliuolo V. A posterior approach for the excision of sacral chordoma. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 1987;69(4):565-8.
323. Nakahara S, Itoh H, Mibu R, Ikeda S, Konomi K, Masuda S. Anorectal function after high sacrectomy with bilateral resection of S2-S5 nerves. Report of a case. *Diseases of the colon and rectum*. 1986;29(4):271-4.
324. Shikata J, Yamamuro T, Kotoura Y, Mikawa Y, Iida H, Maetani S. Total sacrectomy and reconstruction for primary tumors. Report of two cases. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1988;70(1):122-5.
325. Sung HW, Shu WP, Wang HM, Yuai SY, Tsai YB. Surgical treatment of primary tumors of the sacrum. *Clinical orthopaedics and related research*. 1987(215):91-8.
326. Tomita K, Tsuchiya H. Total sacrectomy and reconstruction for huge sacral tumors. *Spine*. 1990;15(11):1223-7.
327. Xu WP, Song XW, Yue SY, Cai YB, Wu J. Primary sacral tumors and their surgical treatment. A report of 87 cases. *Chinese medical journal*. 1990;103(11):879-84.
328. Moran D, Zadnik PL, Taylor T, Groves ML, Yurter A, Wolinsky JP, et al. Maintenance of bowel, bladder, and motor functions after sacrectomy. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society*. 2015;15(2):222-9.
329. Samson IR, Springfield DS, Suit HD, Mankin HJ. Operative treatment of sacrococcygeal chordoma. A review of twenty-one cases. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1993;75(10):1476-84.
330. Ozaki T, Hillmann A, Winkelmann W. Surgical Treatment of sacrococcygeal chordoma. *Journal of surgical oncology*. 1997;64(4):274-9.
331. Li CJ, Liu XZ, Zhou GX, Lu M, Zhou X, Shi X, et al. [Impact of sacral nerve root resection on the erectile and ejaculatory function of the sacral tumor patient]. *Zhonghua nan ke xue = National journal of andrology*. 2015;21(3):251-5.
332. Wuisman P, Lieshout O, Sugihara S, van Dijk M. Total sacrectomy and reconstruction: oncologic and functional outcome. *Clinical orthopaedics and related research*. 2000(381):192-203.
333. Phimolsarnit R, Waikakul S. Prevalence of neuropathic pain after radical sacral chordoma resection: an observational cohort study with 10-year follow-up. *European journal of orthopaedic surgery & traumatology : orthopedie traumatologie*. 2015;25 Suppl 1:S225-31.
334. Karnofsky DA, Burchenal JH. The clinical evaluation of chemotherapeutic agents in cancer. In: MacLeod CM, editor. *Evaluation of chemotherapeutic agents*. New York: Columbia University Press; 1949. p. 191-205.
335. Charlson ME, Pompei P, Ales KL, MacKenzie CR. A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: development and validation. *Journal of chronic diseases*. 1987;40(5):373-83.
336. [http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/49381-Fabricacion-aditiva-de-aluminio-y-aleaciones-ligeras-\(ANF-Forming\).html](http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/49381-Fabricacion-aditiva-de-aluminio-y-aleaciones-ligeras-(ANF-Forming).html). Fabricación aditiva de aluminio y aleaciones ligeras (ANF-Forming) [http://fabricación/aditiva-de-aluminio-y-aleaciones-ligeras-\(ANF-Forming\)2011/](http://fabricación/aditiva-de-aluminio-y-aleaciones-ligeras-(ANF-Forming)2011/) [
337. Parthasarathy J, Starly B, Raman S, Christensen A. Mechanical evaluation of porous titanium (Ti6Al4V) structures with electron beam melting (EBM). *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*. 2010;3(3):249-59.
338. Sing SL, An J, Yeong WY, Wiria FE. Laser and electron-beam powder-bed additive manufacturing of metallic implants: A review on processes, materials and designs. *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society*. 2016;34(3):369-85.
339. de Peppo GM, Palmquist A, Borchardt P, Lennerås M, Hyllner J, Snis A, et al. Free-Form-Fabricated Commercially Pure Ti and Ti6Al4V Porous Scaffolds Support the Growth of Human Embryonic Stem Cell-Derived Mesodermal Progenitors. *The Scientific World Journal*. 2012;2012:1-14.
340. Hrabe NW, Heini P, Bordia RK, Korner C, Fernandes RJ. Maintenance of a bone collagen phenotype by osteoblast-like cells in 3D periodic porous titanium (Ti-6Al-4 V) structures fabricated by selective electron beam melting. *Connective tissue research*. 2013;54(6):351-60.
341. Wang H, Zhao B, Liu C, Wang C, Tan X, Hu M. A Comparison of Biocompatibility of a Titanium Alloy Fabricated by Electron Beam Melting and Selective Laser Melting. *PloS one*. 2016;11(7):e0158513.
342. Chua CK, Leong KF. *3D Printing and additive manufacturing: principles and applications*,. 4th ed. ed. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.; 2014.
343. Yeong WY, Sudarmadji N, Yu HY, Chua CK, Leong KF, Venkatraman SS, et al. Porous polycaprolactone scaffold for cardiac tissue engineering fabricated by selective laser sintering. *Acta biomaterialia*. 2010;6(6):2028-34.
344. Barbas A, Bonnet AS, Lipinski P, Pesci R, Dubois G. Development and mechanical characterization of porous titanium bone substitutes. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*. 2012;9:34-44.
345. Van Bael S, Chai YC, Truscetto S, Moesen M, Kerckhofs G, Van Oosterwyck H, et al. The effect of pore geometry on the in vitro biological behavior of human periosteum-derived cells seeded on selective laser-melted Ti6Al4V bone scaffolds.

Acta biomaterialia. 2012;8(7):2824-34.

346. Biemond JE, Hannink G, Verdonschot N, Buma P. The effect of E-beam engineered surface structures on attachment, proliferation and differentiation of human mesenchymal stem cells. *Bio-medical materials and engineering*. 2011;21(5-6):271-9.
347. Cronskär M, Bäckström M, Rännar L-E. Production of customized hip stem prostheses – a comparison between conventional machining and electron beam melting (EBM). *Rapid Prototyping Journal*. 2013;19(5):365-72.
348. Mazzoli A, Germani M, Raffaelli R. Direct fabrication through electron beam melting technology of custom cranial implants designed in a PHANTOM-based haptic environment. *Mater Design*. 2009;30(8):3186–92.
349. Jardini AL, Larosa MA, Maciel Filho R, Zavaglia CA, Bernardes LF, Lambert CS, et al. Cranial reconstruction: 3D biomodel and custom-built implant created using additive manufacturing. *Journal of cranio-maxillo-facial surgery : official publication of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery*. 2014;42(8):1877-84.
350. Fattori A. *3D Parametric Finite Element Modelling of the Lumbar Spine*. Valencia: Università degli Studi di Udine; 2006.
351. Goel VK, Lim TH, Gwon J, Chen JY, Winterbottom JM, Park JB, et al. Effects of rigidity of an internal fixation device. A comprehensive biomechanical investigation. *Spine*. 1991;16(3 Suppl):S155-61.
352. Totoribe K, Tajima N, Chosa E. A biomechanical study of posterolateral lumbar fusion using a three-dimensional nonlinear finite element method. *Journal of orthopaedic science : official journal of the Japanese Orthopaedic Association*. 1999;4(2):115-26.
353. Kong WZ, Goel VK, Gilbertson LG. Prediction of biomechanical parameters in the lumbar spine during static sagittal plane lifting. *Journal of biomechanical engineering*. 1998;120(2):273-80.
354. Sharma M, Langrana NA, Rodriguez J. Role of ligaments and facets in lumbar spinal stability. *Spine*. 1995;20(8):887-900.
355. Skalli W, Robin S, Lavaste F, Dubousset J. A biomechanical analysis of short segment spinal fixation using a three-dimensional geometric and mechanical model. *Spine*. 1993;18(5):536-45.
356. Natarajan RN, Andersson GB, Patwardhan AG, Andriacchi TP. Study on effect of graded facetectomy on change in lumbar motion segment torsional flexibility using three-dimensional continuum contact representation for facet joints. *Journal of biomechanical engineering*. 1999;121(2):215-21.
357. Lavaste F, Skalli W, Robin S, Roy-Camille R, Mazel C. Three-dimensional geometrical and mechanical modelling of the lumbar spine. *Journal of biomechanics*. 1992;25(10):1153-64.
358. Koubba W, Defives T, Pierunek M, Simonet J, Skalli W, Lavaste F. A three-dimensional finite elements model of the thoracolumbar junction (T12-L1). *Rachis*. 1995;7:181-96.
359. Belytschko T, Kulak RF, Schultz AB, Galante JO. Finite element stress analysis of an intervertebral disc. *Journal of biomechanics*. 1974;7(3):277-85.
360. Chazal J, Tanguy A, Bourges M, Gaurel G, Escande G, Guillot M, et al. Biomechanical properties of spinal ligaments and a histological study of the supraspinal ligament in traction. *Journal of biomechanics*. 1985;18(3):167-76.
361. Lee CK, Langrana NA. Lumbosacral spinal fusion. A biomechanical study. *Spine*. 1984;9(6):574-81.
362. Phillips AT, Pankaj P, Howie CR, Usmani AS, Simpson AH. Finite element modelling of the pelvis: inclusion of muscular and ligamentous boundary conditions. *Medical engineering & physics*. 2007;29(7):739-48.
363. Anderson AE, Peters CL, Tuttle BD, Weiss JA. Subject-specific finite element model of the pelvis: development, validation and sensitivity studies. *Journal of biomechanical engineering*. 2005;127(3):364-73.
364. Phillips AT, Pankaj P, Howie CR, Usmani AS, Simpson AH. 3D non-linear analysis of the acetabular construct following impaction grafting. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*. 2006;9(3):125-33.
365. Thompson MS, Flivik G, Juliusson R, Odgaard A, Ryd L. A comparison of structural and mechanical properties in cancellous bone from the femoral head and acetabulum. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part H, Journal of engineering in medicine*. 2004;218(6):425-9.
366. Wirtz DC, Schiffrers N, Pandorf T, Radermacher K, Weichert D, Forst R. Critical evaluation of known bone material properties to realize anisotropic FE-simulation of the proximal femur. *Journal of biomechanics*. 2000;33(10):1325-30.
367. Zheng L, Li Z, Li Q, Ji F, Cai Z. Finite element analysis of lumbosacral reconstruction after partial sacrectomy. *Medical Science Monitor : International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*. 2014;20:889-93.
368. Zhu R, Cheng LM, Yu Y, Zander T, Chen B, Rohlmann A. Comparison of four reconstruction methods after total sacrectomy: a finite element study. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*. 2012;27(8):771-6.
369. Gottfried ON, Omeis I, Mehta VA, Solakoglu C, Gokaslan ZL, Wolinsky JP. Sacral tumor resection and the impact on pelvic incidence. *Journal of neurosurgery Spine*. 2011;14(1):78-84.
370. Roy-Camille R, Saillant G, Mazel C. Internal fixation of the lumbar spine with pedicle screw plating. *Clinical orthopaedics and related research*. 1986(203):7-17.
371. Magerl F, Angst M, Schlapfer F. Biomechanical studies of the spine. Their significance for the development of rational treatment techniques. *Der Orthopade*. 1992;21(1):24-8.
372. Street JT, Lenehan BJ, DiPaola CP, Boyd MD, Kwon BK, Paquette SJ, et al. Morbidity and mortality of major adult spinal surgery. A prospective cohort analysis of 942 consecutive patients. *The spine journal : official journal of the North American*

Spine Society. 2012;12(1):22-34.

373. Omeis IA, Dhir M, Sciubba DM, Gottfried ON, McGirt MJ, Attenello FJ, et al. Postoperative surgical site infections in patients undergoing spinal tumor surgery: incidence and risk factors. *Spine*. 2011;36(17):1410-9.
374. Ji T, Guo W, Yang R, Tang X, Wang Y, Huang L. What Are the Conditional Survival and Functional Outcomes After Surgical Treatment of 115 Patients With Sacral Chordoma? *Clinical orthopaedics and related research*. 2016.
375. Kayani B, Hanna SA, Sewell MD, Saifuddin A, Molloy S, Briggs TVW. A review of the surgical management of sacral chordoma. *European journal of surgical oncology : the journal of the European Society of Surgical Oncology and the British Association of Surgical Oncology*. 2014;40(11):1412-20.
376. Cheng EY, Ozerdemoglu RA, Transfeldt EE, Thompson RC, Jr. Lumbosacral chordoma. Prognostic factors and treatment. *Spine*. 1999;24(16):1639-45.
377. Park L, Delaney TF, Liebsch NJ, Hornicek FJ, Goldberg S, Mankin H, et al. Sacral chordomas: Impact of high-dose proton/photon-beam radiation therapy combined with or without surgery for primary versus recurrent tumor. *International journal of radiation oncology, biology, physics*. 2006;65(5):1514-21.
378. Chen KW, Yang HL, Lu J, Liu JY, Chen XQ. Prognostic factors of sacral chordoma after surgical therapy: a study of 36 patients. *Spinal cord*. 2010;48(2):166-71.
379. Ishii K, Chiba K, Watanabe M, Yabe H, Fujimura Y, Toyama Y. Local recurrence after S2-3 sacrectomy in sacral chordoma. Report of four cases. *Journal of neurosurgery*. 2002;97(1 Suppl):98-101.
380. Park SA, Kim HS. F-18 FDG PET/CT evaluation of sacrococcygeal chordoma. *Clinical nuclear medicine*. 2008;33(12):906-8.
381. Miyazawa N, Ishigame K, Kato S, Satoh Y, Shinohara T. Thoracic chordoma: review and role of FDG-PET. *Journal of neurosurgical sciences*. 2008;52(4):117-21; discussion 21-2.
382. Ahmed AR. Safety margins in resection of sacral chordoma: analysis of 18 patients. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. 2009;129(4):483-7.
383. Ozger H, Eralp L, Sungur M, Atalar AC. Surgical management of sacral chordoma. *Acta orthopaedica Belgica*. 2010;76(2):243-53.
384. Lee J, Bhatia NN, Hoang BH, Ziogas A, Zell JA. Analysis of prognostic factors for patients with chordoma with use of the California Cancer Registry. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2012;94(4):356-63.
385. Wittekind C, Compton C, Quirke P, Nagtegaal I, Merkel S, Hermanek P, et al. A uniform residual tumor (R) classification: integration of the R classification and the circumferential margin status. *Cancer*. 2009;115(15):3483-8.
386. McMaster ML, Goldstein AM, Bromley CM, Ishibe N, Parry DM. Chordoma: incidence and survival patterns in the United States, 1973-1995. *Cancer causes & control : CCC*. 2001;12(1):1-11.
387. Osaka S, Osaka E, Kojima T, Yoshida Y, Tokuhashi Y. Long-term outcome following surgical treatment of sacral chordoma. *Journal of surgical oncology*. 2014;109(3):184-8.
388. Schwab JH, Healey JH, Rose P, Casas-Ganem J, Boland PJ. The surgical management of sacral chordomas. *Spine*. 2009;34(24):2700-4.
389. Nishida Y, Kamada T, Imai R, Tsukushi S, Yamada Y, Sugiura H, et al. Clinical outcome of sacral chordoma with carbon ion radiotherapy compared with surgery. *International journal of radiation oncology, biology, physics*. 2011;79(1):110-6.
390. Imai R, Kamada T, Tsuji H, Yanagi T, Baba M, Miyamoto T, et al. Carbon ion radiotherapy for unresectable sacral chordomas. *Clinical cancer research : an official journal of the American Association for Cancer Research*. 2004;10(17):5741-6.
391. Delaney TF, Liebsch NJ, Pedlow FX, Adams J, Weyman EA, Yeap BY, et al. Long-term results of Phase II study of high dose photon/proton radiotherapy in the management of spine chordomas, chondrosarcomas, and other sarcomas. *Journal of surgical oncology*. 2014;110(2):115-22.
392. Stacchiotti S, Casali PG. Systemic therapy options for unresectable and metastatic chordomas. *Current oncology reports*. 2011;13(4):323-30.
393. Labelle H, Roussouly P, Berthonnaud E, Dimnet J, O'Brien M. The importance of spino-pelvic balance in L5-s1 developmental spondylolisthesis: a review of pertinent radiologic measurements. *Spine*. 2005;30(6 Suppl):S27-34.
394. Labelle H, Roussouly P, Berthonnaud E, Transfeldt E, O'Brien M, Chopin D, et al. Spondylolisthesis, pelvic incidence, and spinopelvic balance: a correlation study. *Spine*. 2004;29(18):2049-54.
395. Legaye J, Duval-Beaupere G, Hecquet J, Marty C. Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 1998;7(2):99-103.
396. Hart RA, Badra MI, Madala A, Yoo JU. Use of pelvic incidence as a guide to reduction of H-type spino-pelvic dissociation injuries. *Journal of orthopaedic trauma*. 2007;21(6):369-74.
397. Hsieh PC, Ondra SL, Wienecke RJ, O'Shaughnessy BA, Koski TR. A novel approach to sagittal balance restoration following iatrogenic sacral fracture and resulting sacral kyphotic deformity. Technical note. *Journal of neurosurgery Spine*. 2007;6(4):368-72.
398. Kim YJ, Bridwell KH, Lenke LG, Rhim S, Cheh G. An analysis of sagittal spinal alignment following long adult lumbar

- instrumentation and fusion to L5 or S1: can we predict ideal lumbar lordosis? *Spine*. 2006;31(20):2343-52.
399. Rose PS, Bridwell KH, Lenke LG, Cronen GA, Mulconrey DS, Buchowski JM, et al. Role of pelvic incidence, thoracic kyphosis, and patient factors on sagittal plane correction following pedicle subtraction osteotomy. *Spine*. 2009;34(8):785-91.
400. Schwab F, Patel A, Ungar B, Farcy JP, Lafage V. Adult spinal deformity-postoperative standing imbalance: how much can you tolerate? An overview of key parameters in assessing alignment and planning corrective surgery. *Spine*. 2010;35(25):2224-31.
401. Marin E, Pressacco M, Fusi S, Lanzutti A, Turchet S, Fedrizzi L. Characterization of grade 2 commercially pure Trabecular Titanium structures. *Materials science & engineering C, Materials for biological applications*. 2013;33(5):2648-56.
402. Sallica-Leva E, Jardini AL, Fogagnolo JB. Microstructure and mechanical behavior of porous Ti-6Al-4V parts obtained by selective laser melting. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*. 2013;26:98-108.
403. Pattanayak DK, Fukuda A, Matsushita T, Takemoto M, Fujibayashi S, Sasaki K, et al. Bioactive Ti metal analogous to human cancellous bone: Fabrication by selective laser melting and chemical treatments. *Acta biomaterialia*. 2011;7(3):1398-406.
404. Fukuda A, Takemoto M, Tanaka K, Fujibayashi S, Pattanayak DK, Matsushita T, et al. Bone Ingrowth into Pores of Lotus Stem-Type Bioactive Titanium Implants Fabricated Using Rapid Prototyping Technique. *Bioceramics Development and Applications*. 2011;1:1-3.
405. Abe F, Santos EC, Kitamura Y. Influence of forming conditions on the titanium model in rapid prototyping with the selective laser melting process. *Proc Inst Mech Eng C J Mech Eng Sci* 2003;217:119-26.





VNIVERSITAT  
DE VALENCIA