

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Sistema de Estudios de Posgrado

Programa de Posgrado de Especialidades Médicas



Estrategias avanzadas de analgesia multimodal en la cirugía de *pectus excavatum*: optimización del manejo del dolor postoperatorio

Trabajo final de graduación sometido a la consideración del Comité de la Especialidad en Anestesiología y Recuperación para optar por el grado académico de médico especialista en Anestesiología y Recuperación

Sustentante

Dra. Pamela Porras Quintero

San José, Costa Rica

2026

Dedicatoria

“A mi hija Alana:

Tu luz me dio fuerza en cada paso.

Esta tesis es por ti y para ti.”

Agradecimientos

A Dios, por acompañarme en cada paso de este proceso, por darme la fortaleza para continuar, la calma en los momentos de duda y la confianza necesaria para alcanzar esta meta.

A mi esposo, Rubén, cuyo apoyo incondicional ha sido uno de los pilares más firmes de esta etapa. Gracias por tu paciencia, tu comprensión y por caminar a mi lado incluso en los días más desafiantes.

A todas las personas que me han acompañado en este camino, les agradezco profundamente su apoyo y dedicación. A mis profesores, colegas y amigos, gracias por cada consejo, cada gesto y cada momento compartido. Su guía y compañía han dejado una huella invaluable en mi formación.

“Este trabajo final de graduación fue aceptado por la Subcomisión de la Especialidad en Anestesiología y Recuperación del Programa de Posgrado en Especialidades Médicas de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Especialista en Anestesiología y Recuperación”.

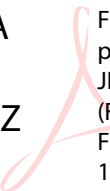
ALEJANDRO
HIDALGO
DELFINO (FIRMA)



Digitally signed by
ALEJANDRO HIDALGO
DELFINO (FIRMA)
Date: 2026.04.07
09:20:26 -06'00'

Dr. Alejandro Hidalgo Delfino
Coordinador de la Especialidad de Anestesiología y Recuperación

LIS MILENA
JIMENEZ
RODRIGUEZ
(FIRMA)



Firmado digitalmente
por LIS MILENA
JIMENEZ RODRIGUEZ
(FIRMA)
Fecha: 2026.04.06
12:10:27 -06'00'

Dra. Milena Jiménez Rodríguez
Tutor

BEATRIZ
JIMENEZ
MEZA
(FIRMA)



Firmado
digitalmente por
BEATRIZ JIMENEZ
MEZA (FIRMA)
Fecha: 2026.04.06
19:50:56 -06'00'

Dra. Beatriz Jiménez Meza

Lectora



Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.

Yo, Pamela Porras Quintero, con cédula de identidad 11200904, en mi condición de autor del TFG titulado _____

Estrategias avanzadas de analgesia multimodal en la cirugía de Pectus Excavatum : Optimización del manejo del dolor postoperatorio.

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI NO *

*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: _____ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE:

Nombre Completo: Pamela Porras Quintero

Número de Carné: C 29909 Número de cédula: 11200904

Correo Electrónico: pamela.porrasquintero@ucr.ac.cr

Fecha: 06 abril 2026 Número de teléfono: 88110293

Nombre del Director (a) de Tesis o Tutor (a): Dra. Milena Jiménez Rodríguez


FIRMA ESTUDIANTE

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

Carta de revisión filológica

Chaves y Sánchez filólogos

A QUIEN INTERESE

Yo, Mario José Chaves Sánchez, máster en Docencia Universitaria de la Universidad Continental de las Ciencias y las Artes, y bachiller en Filología de la Universidad Autónoma de Centroamérica; con cédula de identidad 6-0172-0317; inscrito en el Colegio de Licenciados y Profesores, con el carné N.º 97989, hago constar que he revisado el documento desde el punto de vista filológico. Se han corregido en él los errores encontrados en ortografía, redacción, gramática y sintaxis. El cual se intitula:

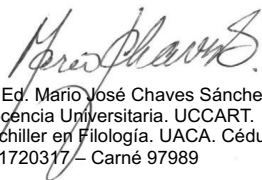
Estrategias Avanzadas de Analgesia Multimodal en la Cirugía de Pectus Excavatum: Optimización del Manejo del Dolor Postoperatorio

Médico Especialista en Anestesiología y Recuperación

Universidad de Costa Rica
Sistema de Estudios de Postgrado
Programa de Postgrado en Especialidades Médicas

De: Pamela Porras Quintero

Se extiende la presente certificación a solicitud del interesado en la ciudad de San José el día 30 de noviembre de 2025. El filólogo no se hace responsable por los cambios que se le introduzcan al trabajo posteriormente a su revisión.



M. Ed. Mario José Chaves Sánchez Máster en
Docencia Universitaria. UCCART.
Bachiller en Filología. UACA. Cédula
601720317- Carné 97989

Tabla de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Hoja de aprobación del Comité Asesor	iv
Carta de aprobación de la tutora	iv
Título del trabajo	xi
Justificación	xii
Pregunta de investigación	xiv
Objetivo general	xv
Objetivos específicos	xv
Metodología	xvi
Capítulo 1. Deformidades de la caja torácica: pectus excavatum	1
1.1 Introducción	1
1.2 Etiología	2
1.3 Presentación clínica	3
1.4 Clasificación	4
1.5 Indicaciones para la cirugía	5
1.6 Técnicas quirúrgicas para la corrección del pectus	7
1.6.1 Procedimiento de Ravich	7
1.6.2 Reparación mínimamente invasiva del pectus excavatum	8
1.7 Técnicas no quirúrgicas para la corrección del pectus	11
1.8 Complicaciones	12
Capítulo 2. Dolor postoperatorio en cirugía torácica	14
2.1 Bases anatómicas del dolor postoperatorio en cirugía torácica	14
2.2 Dolor de Toracotomía: Fisiopatología	15
2.3 Factores de riesgo quirúrgico para el desarrollo del dolor postoperatorio	16
2.3.1 Toracotomía clásica	16
2.3.2 Mini toracotomía	17
2.3.3 VATS (video-assisted thoracoscopic surgery)	17
2.3.4 RATS (robot-assisted thoracoscopic surgery)	17
2.4 Factores de riesgo del paciente para el desarrollo del dolor postoperatorio	17
2.5 Complicaciones del dolor	18
2.6 Valoración y abordaje del dolor	19
Capítulo 3. Analgesia multimodal	20

3.1 Puntos claves de la anestesia multimodal	20
3.2 Consideraciones	21
3.3 Manejo del dolor	21
3.3.1 Acetaminofén	22
3.3.2 Acetaminofén para toracotomía	22
3.3.3 Acetaminofén para VATS	22
3.3.4 Medicamentos antiinflamatorios no esteroideos (AINE)	23
3.3.5 AINE para la toracotomía	23
3.3.6 AINE para VATS	24
3.3.7 Antagonistas del receptor de N-metil-D-aspartato (NMDA)	24
3.3.8 Antagonistas del receptor NMDA en toracotomía	25
3.3.9 Antagonistas del receptor NMDA en VATS	25
3.3.10 Gabapentinoides	26
3.3.11 Gabapentinoides en toracotomía	26
3.3.12 Gabapentinoides en VATS	26
3.3.13 Lidocaína	27
3.3.14 Lidocaína en toracotomía	27
3.3.15 Lidocaína en VATS	27
3.3.16 Corticosteroides	28
3.3.17 Opioides	28
Capítulo 4. Técnicas regionales avanzadas para el manejo del dolor postoperatorio en cirugías de pectus excavatum	29
4.1 Analgesia epidural torácica	29
4.1.1 Anatomía	29
4.1.2 Relevancia clínica	32
4.1.3 Técnica	32
4.1.4 Consideraciones	35
4.1.5 Complicaciones	35
4.2 Bloqueo paravertebral	36
4.2.1 Anatomía	36
4.2.2 Relevancia clínica	37
4.2.3 Técnica	37
4.2.4 Consideraciones	39
4.2.5 Complicaciones	40
4.3 Bloqueo del plano del erector de la columna (ESPB)	41

4.3.1 Anatomía	41
4.3.2. Técnica	43
4.3.3 Mecanismo de acción del bloqueo del plano del erector espinal	44
4.3.4 Consideraciones	45
4.3.5 Complicaciones	46
4.4 Bloqueo serrato anterior	47
4.4.1 Anatomía	47
4.4.2 Técnica	48
4.4.3 Consideraciones	49
4.4.4 Complicaciones	51
4.5 Bloqueo Pecs II	51
4.5.1 Anatomía	51
4.5.2. Técnica	53
4.5.3 Consideraciones	54
4.5.4. Complicaciones	55
4.6 Bloqueo del nervio intercostal	55
4.6.1 Anatomía	55
4.6.2 Relevancia clínica	57
4.6.3 Técnica	57
4.6.4 Consideraciones	58
4.6.5 Complicaciones	59
4.7 Crioblación intercostal en reparación de pectus excavatum	59
4.7.1 Mecanismo de acción	60
4.7.2 Crioneurólisis percutánea para el dolor agudo	63
4.7.3 Consideraciones	67
4.7.4 Complicaciones de la crioanalgesia	69
Capítulo 5. Protocolo de analgesia multimodal para cirugías de corrección de pectus excavatum	72
Referencias bibliográficas	79
Anexo	87

Índice de figuras

Figura 1. Fotografías hombre de 34 años con pectus excavatum	3
Figura 2. Dispositivo de campana de vacío.	12
Figura 3. La columna vertebral en vista oblicua.	30
Figura 4. Técnica de anestesia epidural lumbar y torácica.	31
Figura 5. Técnica de pérdida de resistencia.	33
Figura 6. Distribución de la anestesia en el bloqueo paravertebral.	37
Figura 7. Vistas ecográficas del espacio paravertebral (EPV).	39
Figura 8. Bloqueo paravertebral.	40
Figura 9. Anatomía del músculo erector espinal.	42
Figura 10. Distribución sensorial de la rama dorsal del nervio intercostal en un ESPB.	43
Figura 11. Posición del transductor y sonoatmía para realizar un ESPB a nivel de T5.. ...	44
Figura 12. Difusión del anestésico local	45
Figura 13. Anatomía nervio intercostal.	47
Figura 14. Anatomía del musculo serrato anterior.	48
Figura 15. Distribución de la analgesia en el bloqueo del plano del serrato.	49
Figura 16. Bloqueo plano serrato anterior. TDA arteria toraco dorsal.	51
Figura 17. Nervio intercostal.	52
Figura 18. Anatomía del nervio intercostal.	55
Figura 19. Bloqueo del nervio intercostal.	58
Figura 20. La crioterapia intraoperatoria se realiza mediante una sonda de crioablación. ..	62
Figura 21. Crioneurólisis percutánea	65
Figura 22. Máquina de crioneurólisis con consola y sonda en forma de trocar.	66
Figura 23. Máquina portátil de crioneurólisis.	67

Título del trabajo:

Estrategias avanzadas de analgesia multimodal en la cirugía de *pectus excavatum*:
optimización del manejo del dolor postoperatorio.

Justificación

El *pectus* comprende el 90% de todas las deformidades de la pared torácica, siendo el *pectus excavatum* la deformidad congénita más común de la pared torácica, con una incidencia de entre 1 de cada 400 y 1 de cada 1000 nacidos vivos (Aly et al., 2023).

Aunque no se ha establecido un mecanismo patológico definitivo, el crecimiento excesivo y desproporcionado de los cartílagos costales, los cambios histopatológicos en el contenido de colágeno de dichos cartílagos y una inserción anómala del diafragma en la parte posterior del esternón podrían ser factores contribuyentes (Haecker, 2023). La deformidad provoca un desplazamiento hacia atrás del esternón, comprimiendo con mayor frecuencia las cavidades cardíacas derechas, lo que provoca una reducción del volumen sistólico y déficits restrictivos.

Dependiendo de la gravedad de la depresión, la presentación de *pectus excavatum* puede variar desde un problema estético menor hasta síntomas cardiopulmonares incapacitantes. A medida que el paciente envejece, la pared torácica puede volverse menos flexible, lo que lleva a la progresión de los síntomas con la madurez del paciente (Aly et al., 2023).

La decisión del manejo quirúrgico está guiada en última instancia por las necesidades del paciente, percepción de las molestias cosméticas y respaldado por el índice de severidad y los marcadores de compromiso fisiológico.

Existen dos procedimientos principales para corregir esta afección: el procedimiento de Ravitch que consiste en una osteotomía en cuña esternal y el procedimiento de Nuss, un abordaje mínimamente invasivo que consiste en insertar una barra metálica debajo del esternón. Sin embargo, ambos procedimientos pueden causar dolor intenso (Chen et al., 2023).

El control del dolor después de la reparación quirúrgica del *pectus excavatum* suele ser complicado y contribuye significativamente a la duración del internamiento (P. N. Scalise & Demehri, 2023). Además, el dolor postoperatorio se asocia con un aumento en las tasas de complicaciones, incluido el desplazamiento de la barra. Por lo tanto, esto enfatiza la

importancia de determinar la técnica de manejo del dolor más efectiva para la atención postoperatoria (Paul et al., 2016).

La analgesia multimodal representa en la actualidad un enfoque esencial para optimizar la experiencia y los resultados de los pacientes sometidos a la cirugía de *pectus excavatum*. A pesar de existir protocolos establecidos, la diversidad de estrategias y la continua aparición de nuevas técnicas —como la crioablación del nervio intercostal, los bloqueos guiados por ecografía o la analgesia controlada por el paciente (PCA)— justifican la necesidad de revisar de manera integral las opciones disponibles (Janssen et al., 2024).

Esta revisión busca, por tanto, aportar evidencia actualizada, con el fin de conocer lo último en cuanto al manejo del dolor en cirugías de *pectus excavatum* para un analgesia más segura, eficaz y personalizada.

Pregunta de investigación

¿Cuáles son las estrategias avanzadas de analgesia multimodal más efectivas para optimizar el manejo del dolor postoperatorio en pacientes sometidos a cirugía de *pectus excavatum*?

Objetivo general

Describir las estrategias más efectivas de analgesia multimodal en la cirugía de *pectus excavatum*, integrando técnicas regionales y sistémicas, con el fin de optimizar el manejo del dolor postoperatorio, reducir el consumo de opioides, favorecer la movilización precoz y disminuir el tiempo de estancia hospitalaria.

Objetivos específicos

Describir las características clínicas, clasificación, complicaciones y criterios quirúrgicos del *pectus excavatum*, así como las técnicas quirúrgicas de corrección mediante los procedimientos de Ravich y Nuss.

Analizar los mecanismos fisiopatológicos del dolor postoperatorio en cirugía de torácica, su impacto sistémico y las principales complicaciones asociadas al manejo inadecuado.

Describir los fundamentos de la analgesia multimodal, sus objetivos terapéuticos y los principales fármacos utilizados, con el propósito de optimizar el manejo del dolor postoperatorios en pacientes sometidos a cirugía torácica.

Describir las principales técnicas empleadas de analgesia neuroaxial y regional en la cirugía de *pectus excavatum*, evaluando su efectividad en la reducción del dolor postoperatorio, así como las posibles complicaciones de cada técnica.

Proponer un protocolo de analgesia multimodal para cirugías de corrección de *pectus excavatum* que integre técnicas farmacológicas y regionales avanzadas para optimizar el control del dolor postoperatorio en pacientes sometidos a esta cirugía mediante el procedimiento de Nuss o Ravich.

Metodología

Se realizó una búsqueda sistemática en la base de datos PubMed, abarcando artículos publicados entre los años 2016 y 2025. La estrategia de búsqueda empleó términos MeSH específicos, incluyendo: “Pectus excavatum/Analgesia”, “Ravitch/Nuss”, “Catéter epidural/Bloqueos regionales en pectus excavatum”, “Pectus excavatum/Analgesia multimodal” y “Nuss/Crioterapia”.

Se incluyeron estudios con los siguientes diseños metodológicos: revisiones sistemáticas y metaanálisis, estudios controlados aleatorizados, estudios de cohortes retrospectivos y revisiones retrospectivas de casos clínicos. Se excluyeron estudios de casos individuales, editoriales, opiniones de expertos y ensayos clínicos no aleatorizados. Finalmente, se seleccionaron 48 artículos que cumplieron con los criterios de inclusión y que aportaron evidencia relevante para la presente revisión.

Capítulo 1. Deformidades de la caja torácica: *pectus excavatum*

1.1 Introducción

El *pectus excavatum* (PE), comúnmente conocido como tórax hundido, es la deformidad torácica congénita más frecuente y afecta aproximadamente a 1 de cada 300 a 400 nacidos vivos. Se caracteriza por una depresión o apariencia cóncava del esternón, lo que hace que el tórax parezca estar hacia adentro (Ciriaco, 2025). La deformidad del *pectus excavatum* ocurre con una frecuencia de tres a cinco veces mayor en varones que en mujeres (Aly et al., 2023).

El *pectus excavatum* puede presentarse a cualquier edad, pero generalmente se diagnostica durante el primer año de vida y es más común durante o después de la pubertad (Dubus, 2024).

Las deformidades de la pared torácica anterior pueden ocasionar repercusiones significativas en la función cardiopulmonar, lo que motiva a muchos pacientes a buscar corrección quirúrgica, dado que la disminución de la capacidad funcional puede interferir significativamente con las actividades de la vida. Además, el impacto negativo sobre la calidad de vida relacionado con la alteración de la imagen corporal —particularmente en adolescentes— representa un factor relevante y, en muchos casos, puede constituir una indicación suficiente para la intervención quirúrgica, incluso en ausencia de compromiso fisiológico severo (Janssen et al., 2024).

Se han utilizado diversas técnicas para corregir esta deformidad, siendo la más común la desarrollada por Ravitch en 1949 (Mao et al., 2017). Este procedimiento es una técnica abierta que implica la resección completa del cartílago, la escisión del apéndice xifoides y, en algunos casos, la osteotomía del esternón. Con el tiempo se han introducido modificaciones como la colocación de un soporte metálico para sostener el esternón, el cual se retira entre los seis meses a un año.

En 1998 Nuss et al. introdujeron un nuevo método mínimamente invasivo (Mao et al., 2017). Este procedimiento se considera actualmente el tratamiento de elección, debido a que permite remodelar el esternón mediante la colocación de una barra retroesternal, preservando

los cartílagos costales. Además, presenta menor morbilidad, incluyendo mejores resultados estéticos en comparación con el procedimiento de Ravitch (Janssen, Coorens et al., 2024).

Pese a su amplia aceptación en poblaciones jóvenes, la adopción de la cirugía mínimamente invasiva en adultos ha sido más lenta y su uso más discutido, en gran parte debido a las dificultades técnicas adicionales asociadas a la menor flexibilidad de la pared torácica madura y a las tasas más altas de complicaciones reportadas (Aly et al., 2023). La cirugía mínimamente invasiva se asocia con una recuperación prolongada y dolorosa que se extiende mucho más allá del período perioperatorio (Archer et al., 2020).

El dolor postoperatorio, así como las complicaciones derivadas del uso de altas dosis de opioides, se han convertido en factores claves en el aumento de la estancia hospitalaria tras la reparación del *pectus excavatum*, representando un reto al que nuestra especialidad (Gallardo et al., 2020). En esta revisión, nuestro objetivo es ofrecer una visión basada en la evidencia sobre las estrategias analgésicas avanzadas más adecuadas para este tipo de deformidad torácica.

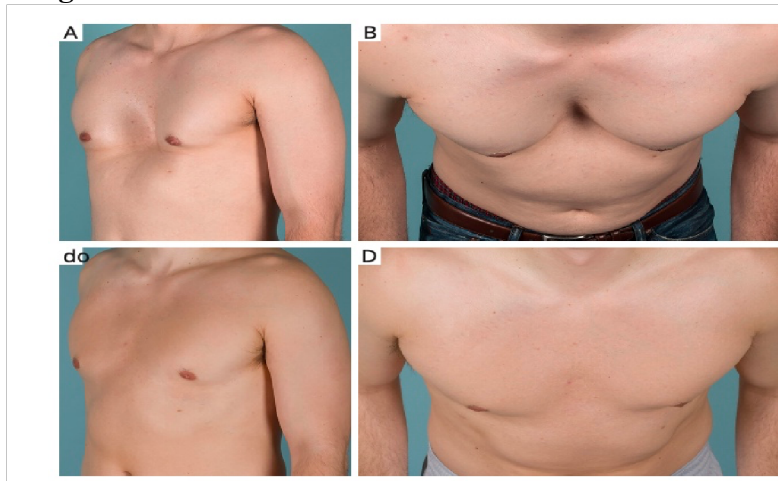
1.2 Etiología

Es probable que exista una predisposición genética al *pectus excavatum*, dado que hasta el 54 % de los pacientes presenta antecedentes familiares positivos (Janssen, Coorens et al., 2024). Aunque no se ha establecido un mecanismo patológico definitivo, se han propuesto como factores contribuyentes el crecimiento desproporcionado de los cartílagos costales, cambios histopatológicos en el contenido de colágeno de dichos cartílagos y una tracción posterior anómala del diafragma sobre el esternón (Scalise & Demehri, 2023).

Si bien, la gran mayoría de los casos son idiopáticos, alrededor del 3–4 %, puede representar manifestaciones de síndromes congénitos como el síndrome de Poland, la pentalogía de Cantrell, la displasia espondilotorácica (Síndrome de Jarcho-Levin) o la distrofia torácica asfixiante (Síndrome de Jeune).

Así mismo, los síndromes del tejido conectivo, como el de Marfan y el de Ehlers-Danlos, también pueden asociarse con deformidades del *pectus* (Patvardhan & Martínez, 2016).

Figura 1. Fotografías hombre de 34 años con *pectus excavatum* antes y después de la corrección quirúrgica.



Nota. Tomado de (Aly et al., 2023).

1.3 Presentación clínica

Aunque muchos casos de *pectus excavatum* son leves y pueden pasar desapercibidos o permanecer asintomáticos, las formas graves de esta deformidad torácica pueden tener importantes repercusiones sobre la función respiratoria y cardiovascular (Ciriaco, 2025). La depresión esternal reduce la distancia externo-vertebral, lo que en casos severos puede provocar el desplazamiento del corazón hacia la izquierda y la compresión del esternón sobre el ventrículo y la aurícula derechos. Estas alteraciones pueden originar disfunción diastólica e intolerancia al ejercicio. Igualmente, se han descrito alteraciones valvulares, como el prolapso de la válvula mitral (Janssen et al., 2024).

La compresión esternal también puede reducir el volumen torácico, lo que produce una disminución de la saturación venosa mixta de oxígeno, la capacidad vital y el volumen corriente, afectando negativamente la tolerancia al ejercicio (Aly et al., 2023).

Finalmente, se ha demostrado que la corrección quirúrgica de la deformidad produce una mejora significativa en el volumen sistólico y en el consumo de oxígeno, efecto atribuido al aumento de las dimensiones anteroposteriores del tórax posterior a la intervención (Scalise & Demehri, 2023).

1.4 Clasificación

Los grados de *pectus excavatum* pueden variar con la edad. Para evaluar su gravedad y su repercusión en la función cardiopulmonar pueden emplearse diversas técnicas de imagen y pruebas complementarias como: la resonancia magnética (RM), la tomografía computarizada torácica (TC), la ecocardiografía y las pruebas de función pulmonar (PFP).

El índice de Haller es una medida que se utiliza para evaluar la gravedad de la PE y determinar la necesidad de cirugía (Türkiye & Dubus, 2024). Este índice se obtiene a partir de imágenes tomográficas, se calcula dividiendo la distancia transversal interna más amplia del tórax por la distancia anteroposterior entre la cara anterior del cuerpo vertebral y el margen posterior del esternón (Jacobson et al., 2020). Para su medición, la tomografía se debe realizar al final de la espiración, no al final de la inspiración, porque el índice de Haller puede aumentar en un 30% al final de la espiración en comparación con el final de la inspiración y es importante evaluar el grado de compresión en su forma más severa (Dunning et al., 2024).

Si bien, un valor ≥ 3.2 se ha establecido como punto de corte para definir un *pectus excavatum* severo, valores menores también pueden asociarse con compromiso cardiopulmonar relevante, síntomas funcionales y alteraciones en la imagen corporal (Aly et al., 2023).

El segundo índice más utilizado es el índice de corrección del *pectus* (ICP) que también ha demostrado utilidad en la evaluación objetiva de la deformidad (Janssen, Coorens et al., 2024). Se traza una línea horizontal a la altura de la superficie anterior del cuerpo vertebral y se realizan dos mediciones a partir de ella.

La primera medición corresponde a la distancia mínima a la superficie posterior del esternón. La segunda corresponde a la distancia máxima a la superficie interna de la pared torácica anterior. El ICP equivale a la diferencia entre las dos mediciones dividida por la distancia máxima, multiplicada por 100 (Jacobson et al., 2020).

El ICP proporciona una estimación más precisa de la gravedad anatómica. Un valor del índice de corrección superior al 10% puede considerarse indicativo de cirugía, especialmente si existen síntomas clínicos y evidencia de compresión mediastinal (Janssen, Coorens et al., 2024).

1.5 Indicaciones para la cirugía

Las indicaciones para la intervención quirúrgica en pacientes adultos con *pectus excavatum* no están completamente estandarizadas; no obstante, con base en la experiencia clínica y en la literatura especializada, se recomienda considerar la cirugía correctiva en aquellos pacientes que presenten dos o más de los siguientes criterios:

- Índice de Haller igual o superior a 3.2 o índice de corrección del *pectus* mayor al 10%.
- Evidencia de compresión cardíaca, desplazamiento del corazón, prolapso de la válvula mitral o alteraciones en la conducción eléctrica.
- Pruebas de función pulmonar compatibles con enfermedad respiratoria restrictiva.
- Alteración del rendimiento cardiopulmonar documentada mediante prueba de esfuerzo cardiopulmonar (CPET).
- Síntomas clínicos progresivos.
- Presencia de afectación psicosocial significativa (Aly et al., 2023a) (Scalise & Demehri, 2023).

En conjunto, el tratamiento quirúrgico debe valorarse en presencia de deformidades anatómicas marcadas o en pacientes con síntomas y alteraciones funcionales atribuibles a la malformación. Se espera que, con la creciente experiencia en la reparación del *pectus* en adultos, los criterios de intervención se refinen y estandaricen progresivamente (Aly et al., 2023).

A pesar de que la reparación es técnicamente más factible en niños pequeños con una pared torácica más maleable, la posibilidad de recurrencia a largo plazo del *pectus excavatum* o el deterioro del crecimiento de la pared torácica ha llevado a retrasar la cirugía hasta la pubertad (Scalise & Demehri, 2023).

Dado que se observó que la recurrencia era más frecuente durante el período puberal, Fonkalsrud y sus colegas también abogaron por retrasar la reparación quirúrgica del *pectus excavatum* hasta al menos los diez años de edad. Los pacientes jóvenes también pueden ser derivados a terapia con campana de vacío como puente hacia una posible corrección quirúrgica o terapia definitiva, como se describe más adelante (Scalise & Demehri, 2023).

1.6 Técnicas quirúrgicas para la corrección del *pectus*

1.6.1 Procedimiento de Ravitch

El procedimiento de Ravitch es una cirugía abierta que implica la extirpación del cartílago anormal y la reubicación del esternón. Esta técnica se suele elegir para casos más complejos o graves de *pectus excavatum* o cuando el procedimiento de Nuss no es adecuado debido a la anatomía específica del paciente. Si bien, el procedimiento de Ravitch tiene un tiempo de recuperación más largo e implica incisiones más grandes, se considera una opción confiable para corregir deformidades significativas de la pared torácica y puede ofrecer excelentes resultados a largo plazo (Ciriaco, 2025).

La técnica abierta de corrección de *pectus excavatum*, originalmente descrita por Mark Ravitch, implica una incisión en la pared torácica anterior a través de la cual se realiza una resección subpericondrial de los cartílagos costales deformados, seguida de una osteotomía transversal en cuña del esternón que luego se eleva y estabiliza mediante la colocación de puntales de soporte. Estos puntales permiten mantener el esternón en una posición corregida mientras ocurre la remodelación cartilaginosa.

El dolor postoperatorio tras la corrección quirúrgica del *pectus excavatum* tiene un origen multifactorial, vinculado principalmente al trauma quirúrgico sobre las estructuras anatómicas de la pared torácica. Entre los tejidos lesionados se encuentran la piel, la musculatura torácica y abdominal —especialmente el músculo pectoral mayor y el recto abdominal—, así como el complejo osteocartilaginoso torácico, incluyendo el esternón y los cartílagos costales. Además, la presencia de un tubo torácico colocado en el polo inferior de la herida quirúrgica o dentro de la cavidad pleural en casos de neumotórax, puede incrementar el inconfort posoperatorio.

La intensidad del dolor se agrava durante la inspiración profunda, la tos o los movimientos corporales activos, lo cual puede limitar la expansión pulmonar y dificultar la recuperación funcional en el periodo inmediato (Fenikowski & Tomaszek, 2022).

Aunque, tanto las técnicas mínimamente invasivas como las abiertas han demostrado ser eficaces para corregir el *pectus excavatum* cuando son realizadas por un cirujano

experimentado, no existe consenso sobre cuál es la técnica más adecuada para todos los pacientes (Scalise & Demehri, 2023).

Al revisar un metaanálisis que comparó el procedimiento de Nuss con el procedimiento de Ravitch en relación con las complicaciones generales, la duración de la estancia hospitalaria y el tiempo hasta la deambulaci3n, no se encontraron diferencias significativas entre ambas t3cnicas. Sin embargo, la tasa de reintervenci3n, así como la incidencia de hemot3rax y neumot3rax postoperatorios, fue mayor tras el procedimiento de Nuss en comparaci3n con el de Ravitch. Ning3n estudio evidenci3 diferencias en el nivel de satisfacci3n de los pacientes (Shaan et al., 2017).

1.6.2 Reparaci3n mínimamente invasiva del *pectus excavatum*

La reparaci3n mínimamente invasiva del *pectus excavatum* (MIRPE), desarrollada por el Dr. Donald Nuss, consiste en la colocaci3n de una o varias barras de acero inoxidable por detrás del estern3n, guiadas mediante toracoscopia. El objetivo es corregir la depresi3n de la pared torácica elevando el estern3n y facilitando así una remodelaci3n progresiva y sostenida del t3rax (Yang et al., 2024).

La correcci3n quir3rgica del *pectus excavatum* mediante el procedimiento de Nuss se considera actualmente el estándar de oro, dado su carácter mínimamente invasivo, mínima p3rdida sanguínea, menor tiempo quir3rgico y la ausencia de necesidad de resecci3n cartilaginosa (Daemen et al., 2020).

La edad ideal para correcci3n quir3rgica del *pectus excavatum* mediante el abordaje mínimamente invasivo (MIRPE o técnica de Nuss) suele ser entre los 12 y 17 años de edad. Durante este periodo, la pared torácica conserva una mayor flexibilidad osteocartilaginosa, lo que facilita el reposicionamiento del estern3n y la remodelaci3n estructural inducida por las barras metálicas. Asimismo, los pacientes en esta etapa presentan una recuperaci3n posoperatoria más rápida, menor intensidad del dolor y una incidencia reducida de complicaciones (Dubus, 2024).

En contraste, la realizaci3n del procedimiento en pacientes adultos puede asociarse a mayor complejidad técnica, debido a la rigidez progresiva de la caja torácica, la osificaci3n de los cartílagos costales y una menor capacidad de adaptaci3n esquelética. Estas

características pueden traducirse en mayor consumo de analgésicos, incremento en la estancia hospitalaria y mayor riesgo de eventos adversos (Dubus, 2024).

El procedimiento de Nuss es una intervención quirúrgica la cual se realiza bajo anestesia general. Para corregir la depresión torácica, se inserta una barra metálica a través de incisiones de dos centímetros y se gira 180 grados, lo que permite elevar el esternón y remodelar la concavidad torácica. La operación se realiza por videotoracoscopia (VATS) y el procedimiento se completa suturando las incisiones (Dubus, 2024).

La barra generalmente se deja durante dos o tres años para permitir que el tórax mantenga su nueva forma mientras los huesos y el cartílago se remodelan. El procedimiento tiene un tiempo de recuperación relativamente corto y se asocia con menos cicatrices en comparación con las cirugías abiertas tradicionales (Ciriaco, 2025). Sin embargo, la remodelación inmediata de la pared torácica inducida por la colocación de la barra de Nuss se asocia con un dolor posoperatorio significativo y prolongado que representa el principal factor determinante en la duración de la hospitalización (Daemen et al., 2020).

Este procedimiento puede causar un dolor postoperatorio considerable y prolongado, debido a la tracción y el desprendimiento de los músculos intercostales durante la cirugía, así como al estiramiento y compresión de la pared torácica. El manejo del dolor en estos pacientes depende, en la mayoría de los casos, de las prácticas institucionales porque actualmente no existe un consenso definido sobre el enfoque óptimo de tratamiento (Yang et al., 2024).

Los críticos de la MIRPE han utilizado los problemas de dolor posoperatorio para apoyar el argumento de utilizar el procedimiento de Ravitch y muchos pacientes han optado por el procedimiento por temor a este dolor intenso (Jaroszewski et al., 2024).

La mayoría de las estrategias para el control del dolor tras el procedimiento de Nuss se basan en analgesia multimodal, la cual ha demostrado ofrecer mejor control del dolor, menos efectos adversos y menos complicaciones (Yang et al., 2024).

Tradicionalmente, la analgesia controlada por el paciente (PCA) y la analgesia epidural torácica (TEA), técnicas previamente empleadas para la reparación abierta, se utilizaban para el manejo del dolor después de la MIRPE. Sin embargo, la creciente

experiencia clínica con la MIRPE reveló que estos enfoques de analgesia eran subóptimos dado el grado y la duración del dolor posoperatorio con la MIRPE (Chiu et al., 2024).

En un estudio retrospectivo publicado por Dubus (2024) se analizaron los resultados del procedimiento de Nuss en 90 pacientes con *pectus excavatum* tratados por un único cirujano entre 2010 y 2022. Se compararon los desenlaces en población pediátrica (<18 años) y adulta (≥ 18 años), demostrando que la técnica es segura y eficaz en ambos grupos. No se observaron diferencias significativas en cuanto al tiempo quirúrgico, la estancia hospitalaria ni el número de barras utilizadas. Sin embargo, los pacientes adultos requirieron barras más largas y presentaron una mayor prevalencia de síntomas preoperatorios, como disnea, palpitaciones y dolor torácico. Las complicaciones más frecuentes fueron el dolor persistente en niños y adolescentes, y la recurrencia tras la retirada de la barra en adultos (Dubus, 2024).

Mao et al. realizaron un metaanálisis en el que compararon los resultados quirúrgicos entre dos técnicas: procedimiento de Nuss (mínimamente invasivo) vs. procedimiento de Ravitch (cirugía abierta) en la corrección del *pectus excavatum*. Se incluyeron 1731 pacientes (989 Nuss, 742 Ravitch), con edades entre 5.9 y 25.7 años, en su mayoría varones (58–96%) y concluyeron que el procedimiento de Nuss mostró ventajas significativas en menor tiempo quirúrgico y menor pérdida de sangre comparado con Ravitch (Mao et al., 2017).

En el estudio retrospectivo unicéntrico realizado por Loos et al. en el Centro Médico Zuyderland (Heerlen, Países Bajos), en el que evaluaron la técnica de Nuss para el *pectus excavatum*, realizaron una comparación de las complicaciones entre pacientes jóvenes y adultos, se incluyeron 179 pacientes sometidos a reparación quirúrgica de *pectus excavatum* mediante el procedimiento de Nuss. La edad media fue de 17 años (rango: 11 a 46 años), con un claro predominio masculino (84.4 % hombres, n = 151). Algunos pacientes recibieron crioanalgesia por toracoscopia como parte del manejo del dolor. La estancia hospitalaria media fue de cuatro días, siendo más corta en quienes recibieron crioanalgesia. Las complicaciones postoperatorias incluyeron neumotórax (7.3 %), derrame pleural (5.6 %), dolor persistente (10.6 %) y reintervención quirúrgica (1.7 %) (De Loos et al., 2021).

1.7 Técnicas no quirúrgicas para la corrección del *pectus*

La campana de vacío constituye una modalidad terapéutica conservadora indicada en pacientes con *pectus excavatum*, se basa en la aplicación de presión negativa sobre la pared torácica anterior, mediante una ventosa posicionada en la región de mayor depresión esternal (Fig. 2). Esta presión negativa genera una fuerza de tracción externa que desplaza progresivamente el esternón hacia una posición más anterior (Toselli et al., 2022).

El protocolo terapéutico incluye una fase inicial de adaptación que se extiende durante los primeros seis meses, en la cual se incrementan gradualmente tanto la duración de las sesiones como la magnitud de la presión negativa aplicada. El objetivo es alcanzar una succión máxima, definida como el momento en que la piel de la región deprimida entra en contacto con la superficie interna del domo de la campana. Esta fase progresiva busca inducir una remodelación estructural sostenida sin comprometer la integridad de los tejidos torácicos (Toselli et al., 2022).

El candidato ideal para la campana de vacío es una persona relativamente joven con una pared torácica flexible, la deformidad de la pared torácica de leve a moderada y la motivación para cumplir con el tratamiento (Scalise & Demehri, 2023).

Obermeyer et al. (2018) realizaron un estudio prospectivo en 114 pacientes con *pectus excavatum* tratados con campana de vacío durante al menos 12 meses. El objetivo fue identificar los factores determinantes del éxito terapéutico, definido como una mejora ≥ 10 mm en la profundidad esternal. Los autores encontraron que la edad temprana, un menor índice de masa corporal, una mayor flexibilidad torácica y adecuada adherencia al tratamiento se asociaron con mejores resultados. Este estudio respalda el uso temprano y sostenido de la campana de vacío como alternativa no quirúrgica eficaz en pacientes seleccionados (Obermeyer et al., 2018).

Figura 2. Dispositivo de campana de vacío



Nota. Tomado de (Scalise & Demehri, 2023).

1.8 Complicaciones

Las complicaciones postoperatorias a considerar incluyen alergia al metal, infección y desplazamiento de la barra. La mayoría de las barras de Nuss actuales están hechas de acero inoxidable, lo que plantea la preocupación por la alergia al metal. La reacción alérgica a las barras que contienen níquel se presentó en el 2,2% de los pacientes sometidos a MIRPE (Scalise & Demehri, 2023).

Obermeyer y sus colegas realizaron recientemente un análisis unicéntrico de los factores de riesgo para las infecciones de la barra de Nuss; la cohorte consistió en 781 pacientes, de los cuales 25 desarrollaron una infección posoperatoria. Los autores concluyeron que la tasa de infección profunda de la barra aumentó después de la clindamicina perioperatoria en lugar de la cefazolína, mientras que la tasa de infección superficial aumentó con el uso de catéteres subcutáneos peri incisionales para analgesia (Scalise & Demehri, 2023).

De Loos et al. realizaron un estudio cohorte retrospectivo en el que incluían 327 pacientes (272 jóvenes, mediana 16 años; 55 adultos, mediana 32 años) evaluaron si la cirugía de Nuss presentaba mayor riesgo de complicaciones en adultos (>24 años) en comparación con los pacientes jóvenes (≤ 24 años) y concluyeron que los adultos tienen más complicaciones que los menores, sobre todo dolor crónico persistente (De Loos et al., 2021).

Capítulo 2. Dolor postoperatorio en cirugía torácica

El dolor es una de las complicaciones más comunes y temidas de la cirugía. El dolor posoperatorio es un problema de salud común e importante que afecta a más del 80% de los pacientes posquirúrgicos y hasta el 75% describe su dolor como moderado a severo. El dolor posoperatorio no controlado puede tener efectos perjudiciales en el funcionamiento físico y la recuperación de los pacientes y provocar morbilidad como infecciones pulmonares, atelectasia, isquemia miocárdica e insuficiencia cardíaca. A pesar de los avances en las estrategias de manejo del dolor, el dolor posoperatorio mal controlado sigue siendo un problema sin resolver (R. Park et al., 2021).

La cirugía torácica se considera uno de los procedimientos quirúrgicos más dolorosos. El dolor postoperatorio en este contexto puede ser intenso y debilitante con un impacto directo en los resultados clínicos. Entre sus principales consecuencias se encuentran las complicaciones respiratorias como atelectasia y neumonía, prolongación de la estancia hospitalaria, deterioro de la calidad de vida y desarrollo de síndrome de dolor postoperatorio crónico persistente.

Las causas más frecuentes del dolor tras estos procedimientos incluyen la incisión quirúrgica, la resección o traumatismo costal, la colocación de tubos torácicos y drenajes, así como la técnica de sutura empleada. Existen múltiples estrategias analgésicas disponibles, tanto sistémicas como regionales. Actualmente, se reconoce que un enfoque de analgesia multimodal representa la estrategia más eficaz para el tratamiento del dolor en pacientes sometidos a cirugía torácica (Marshall & McLaughlin, 2020).

2.1 Bases anatómicas del dolor postoperatorio en cirugía torácica

La inervación del tórax involucra los nervios espinales torácicos con sus ramas dorsales que inervan la pared torácica posterior y los músculos para espinales, y sus ramas anteriores que se convierten en nervios intercostales que viajan en la superficie inferior de la costilla entre los músculos intercostales internos y más internos, se ramifican en los nervios cutáneos lateral y anterior. La cadena simpática torácica discurre adyacente a la columna vertebral en el espacio paravertebral y proporciona inervación visceral al tórax e inervación simpática eferente.

Otros nervios relevantes para el tórax incluyen el nervio vago, el nervio frénico de C3-5 que inerva el diafragma y los nervios del plexo braquial, incluyendo el nervio escapular dorsal que inerva los romboides y el elevador de la escápula, los nervios pectorales medial y lateral que inervan los pectorales menor y mayor, el nervio torácico largo que inerva el serrato anterior y el nervio toraco dorsal que inerva el dorsal ancho.

El dolor intenso puede tener origen nociceptivo, neuropático, inflamatorio e isquémico, incluyendo dolor incisional, daño muscular, disrupción de la articulación costovertebral, lesión de los nervios intercostales y lesión e inflamación pleural. El dolor de hombro ipsilateral referido, secundario a la colocación de tubos torácicos e irritación de la pleura mediastinal (Hamilton et al., 2022).

2.2 Dolor de toracotomía: fisiopatología

Las aferencias somáticas nociceptivas constituyen la principal fuente de dolor, originadas en los nervios intercostales que se activan por el daño a la pared torácica y la pleura. La señal dolorosa se transmite desde los nervios intercostales hacia el asta dorsal ipsilateral de la médula espinal, ascendiendo posteriormente por el sistema anterolateral contralateral hasta el sistema límbico y las cortezas somatosensoriales.

En el sitio de lesión se liberan mediadores inflamatorios como prostaglandinas, bradicinina, histamina y potasio que activan directamente los receptores nociceptivos. Esta activación provoca una respuesta aumentada conocida como sensibilización primaria. Si la estimulación persiste, se genera hiperexcitabilidad en las neuronas del asta dorsal con liberación de glutamato y activación de los receptores N-metil-D-aspartato (NMDA) en la médula espinal. La activación de estos receptores incrementa la sensibilidad de las neuronas espinales, lo que produce una sensibilización central. Además, la activación del receptor NMDA reduce la sensibilidad neuronal a los agonistas opioides, dificultando el control del dolor.

Por otro lado, las aferencias viscerales nociceptivas provienen del nervio vago que transmite impulsos nociceptivos del pulmón, el mediastino y la pleura mediastínica. (Marshall & McLaughlin, 2020).

El nervio frénico puede ser responsable de dolor referido que se percibe frecuentemente en el hombro ipsilateral, el cual no suele responder adecuadamente a la analgesia proporcionada por bloqueos epidurales torácicos, debido a que su origen radicular se encuentra en los segmentos cervicales (C3–C5). Por otro lado, el dolor neuropático representa una contribución significativa a la incomodidad postoperatoria y puede ser consecuencia de una lesión directa a los nervios intercostales, lo que genera hipersensibilidad y manifestaciones como disestesia, alodinia, hiperalgesia e hiperpatía. Estas alteraciones pueden persistir a largo plazo y contribuir al desarrollo de síndrome de dolor postoperatorio crónico (Marshall & McLaughlin, 2020).

2.3 Factores de riesgo quirúrgico para el desarrollo del dolor postoperatorio

La elección de la técnica quirúrgica influye de manera determinante en la intensidad y características del dolor postoperatorio.

2.3.1 *Toracotomía clásica*

Implica una incisión posterolateral amplia que permite una excelente exposición quirúrgica. Sin embargo, es considerada la técnica más dolorosa porque requiere la sección de múltiples músculos (dorsal ancho, serrato anterior, romboides y trapecio). Esta técnica se ha asociado con un mayor riesgo de desarrollar uso persistente de opioides en el postoperatorio.

2.3.2 *Mini toracotomía*

Diseñada para preservar los músculos torácicos, reduce la morbilidad relacionada con la incisión. No obstante, al limitar la exposición quirúrgica, puede requerir una mayor retracción costal, con riesgo de luxación y daño a los nervios intercostales. A menudo abarca varios dermatomas, aumentando así la extensión del dolor postoperatorio.

2.3.3 *VATS (video-assisted thoracoscopic surgery)*

Ha ganado popularidad por sus múltiples ventajas, incluyendo incisiones más pequeñas, menor dolor postoperatorio y estancias hospitalarias más breves. Sin embargo, la inserción de trócares sigue representando un riesgo para los nervios intercostales.

2.3.4 RATS (*robot-assisted thoracoscopic surgery*)

Técnica en crecimiento durante la última década, proporciona beneficios ergonómicos al cirujano, maniobrabilidad mejorada de los instrumentos (gracias a movimientos articulados) y visualización tridimensional del campo operatorio. Estudios retrospectivos indican que, aunque la RATS tiene una duración quirúrgica mayor, se asocia con una menor tasa de conversión a toracotomía abierta en comparación con la VATS, principalmente por una menor incidencia de complicaciones como el sangrado. No se han encontrado diferencias clínicamente significativas en las puntuaciones de dolor postoperatorio entre VATS y RATS.

2.4 Factores de riesgo del paciente para el desarrollo del dolor postoperatorio

Se ha sugerido que, en cuanto a los factores individuales del paciente que podrían predisponer a mayor intensidad de dolor postoperatorio, el sexo femenino, pacientes jóvenes y el uso crónico de opioides preoperatorios desempeñan un papel importante. Estos últimos pacientes, al presentar tolerancia farmacológica, pueden tener una respuesta analgésica disminuida en el periodo postoperatorio. Sin embargo, la evidencia que respalde de manera concluyente estos factores en el contexto específico de la cirugía torácica aún es limitada (Marshall & McLaughlin, 2020).

2.5 Complicaciones del dolor

El dolor posoperatorio persistente no es infrecuente y contribuye a prolongar la estancia hospitalaria y a un mayor consumo de opioides posoperatorios. El control inadecuado del dolor puede tener consecuencias negativas duraderas como: la memoria del dolor, los trastornos del comportamiento y el dolor crónico.

Una analgesia inadecuada intensifica los efectos negativos del reflejo de protección torácico, incluyendo la reducción de los volúmenes corrientes, la alteración de la tos y eliminación de secreciones y aumento de las atelectasias. En conjunto, esto puede incrementar el riesgo de complicaciones pulmonares postoperatorias, incluyendo hipoxemia, hipercapnia, neumonía, posible necesidad de soporte ventilatorio mecánico prolongado, reintubación e ingreso en la unidad de cuidados intensivos.

El dolor agudo mal controlado también puede aumentar el riesgo de síndrome de dolor crónico postoracotomía, tanto tras la toracotomía como después de la cirugía torácica videoasistida (VATS) puede ser difícil de tratar y tener un impacto significativo en la calidad de vida del paciente durante meses o años.

2.6 Valoración y abordaje del dolor

Otra consideración es que las mediciones del dolor frecuentemente se obtienen a través de una puntuación del dolor que es una medida subjetiva y depende del autoinforme del paciente.

Las escalas de dolor utilizadas actualmente en la literatura reciente son: la Escala Visual Analógica (EVA), la Escala de Dolor de Rostros Revisada y la Escala Numérica de Calificación. En este ámbito es posible que se deba desarrollar mejores herramientas para medir el dolor con mayor precisión en la población pediátrica. Las evaluaciones del dolor pediátrico deben incluir evaluaciones funcionales del movimiento (movimiento en la cama, incorporación, deambulación, etc.) y la ingesta oral (por vía oral) (Marshall & McLaughlin, 2020).

Además, las vías del dolor son complejas. Ha habido un cambio hacia la analgesia preventiva que bloquea las entradas de dolor antes de la incisión para mitigar la sensibilización central del dolor que contribuye al dolor crónico. Dada la actual epidemia de opioides, se han realizado esfuerzos para disminuir la dependencia de opioides y la hiperalgesia asociada (Shaikh et al., 2025).

Capítulo 3. Analgesia multimodal

El manejo multimodal del dolor permite dosis más bajas de fármacos individuales, lo que reduce los efectos secundarios y preserva la eficacia general. El objetivo de esta práctica es reducir la probabilidad de sensibilización central, optimizar el control del dolor y evitar los efectos adversos del abuso de opioide (Chiu et al., 2024).

Se ha demostrado que sus aplicaciones son efectivas para varios procedimientos quirúrgicos, incluido MIRPE. Las estrategias de analgesia multimodal involucran una combinación de anestesia regional, anestésico de infiltración local y adyuvantes analgésicos sistémicos no opioides sobre opioides. Estos regímenes se han estandarizado cada vez más y se han convertido en parte de las estrategias ERAS (Shaikh et al., 2025).

3.1 Puntos claves de la anestesia multimodal

- El objetivo es lograr utilizar diferentes fármacos administrados por distintas vías, con diversos mecanismos y vías de acción, obteniendo una analgesia adecuada que, además permita disminuir la dosis de los fármacos administrados logrando, igualmente reducir los efectos secundarios de cada uno de ellos, favoreciendo una analgesia postoperatoria de calidad con un mayor bienestar para el paciente.
- El objetivo es conseguir un efecto sinérgico con la asociación de diferentes fármacos por distintas vías de administración.
- La utilización de técnicas regionales para el control del dolor postoperatorio constituye un componente clave sobre el que se centra la analgesia multimodal. Estas técnicas, tanto bloqueos periféricos como centrales, han demostrado que, al disminuir las aferencias dolorosas a nivel central, consiguen atenuar la respuesta endocrina al estrés y la respuesta proinflamatoria, disminuir la inhibición de la función respiratoria, mejorar la perfusión coronaria, aumentar la motilidad intestinal, mejorar la perfusión tisular y disminuir la resistencia a la insulina.
- Además, las técnicas loco regionales combinadas con una analgesia multimodal (antiinflamatorios, neuromoduladores) podrían reducir la probabilidad de padecer dolor crónico (Tornero Tornero et al., 2017).

3.2 Consideraciones

Lo fundamental es reducir la llegada de señales de dolor al sistema nervioso central, lo que puede lograrse en algunas cirugías con catéteres epidurales, bloqueos nerviosos periféricos o infiltración de la herida quirúrgica con anestésicos locales. Se debe realizar una terapia intensiva y temprana para el dolor postoperatorio, dado que la intensidad del dolor postoperatorio agudo se correlaciona con el riesgo de desarrollar un estado de dolor crónico persistente (Torner Tornero et al., 2017).

La analgesia multimodal se traduce en un mejor control del dolor, una recuperación funcional más rápida y una menor exposición a efectos adversos relacionados con el uso de opioides. En este contexto, entidades como la Sociedad Americana de Anestesiólogos (ASA), la Sociedad Americana del Dolor (APS) y la Sociedad Americana de Anestesia Regional y Medicina del Dolor (ASRA) han promovido enfáticamente la implementación de la analgesia multimodal en el tratamiento del dolor agudo en el entorno perioperatorio. Actualmente, este enfoque se considera el estándar de atención en pacientes posquirúrgicos, independientemente del tipo de procedimiento realizado (O'Neill & Lirk, 2022).

3.3 Manejo del dolor

El manejo del dolor después de una cirugía torácica se realiza mejor con agentes farmacológicos sistémicos multimodales junto con anestesia regional. Los analgésicos sistémicos constituyen un pilar fundamental en el manejo multimodal del dolor postoperatorio en cirugía torácica e incluyen antiinflamatorios no esteroides (AINE), antagonistas del receptor N-metil-D-aspartato (NMDA), acetaminofén, gabapentinoides y opioides.

3.3.1 Acetaminofén

El paracetamol es uno de los analgésicos más utilizados en todo el mundo y tiene muy pocos efectos adversos. Aunque se desconoce el mecanismo de acción analgésico exacto, inhibe la ciclooxigenasa (COX) y puede afectar a múltiples vías del sistema nervioso central involucradas en el dolor. Tiene poca o ninguna actividad antiinflamatoria, no afecta la función plaquetaria, la perfusión renal o la integridad mucosa del tracto gastrointestinal y tiene un perfil extremadamente seguro cuando se usa en dosis apropiadas. La ruta IV proporciona un

efecto de inicio a pico más rápido en comparación con el oral (25 frente a 45 minutos, respectivamente); sin embargo, ambos tienen una actividad analgésica máxima y una duración similares. Una revisión sistemática reciente en una cohorte quirúrgica mixta sugiere que ambas vías proporcionan analgesia postoperatoria equivalente, siendo la formulación oral menos costosa; aunque, no hay estudios que comparen específicamente diferentes vías de administración en cirugía torácica (Hamilton et al., 2022).

3.3.2 Acetaminofén para toracotomía

Se ha demostrado que el acetaminofén reduce eficazmente el dolor de hombro ipsilateral, cuando se usa peri operatoriamente junto con la analgesia epidural torácica, en pacientes con toracotomía. Los datos retrospectivos en pacientes de cirugía torácica en dos centros académicos sugieren que el paracetamol intravenoso está asociado con una duración reducida de la estancia en el hospital y la UCI, y el tiempo de extubación en pacientes con toracotomía.

3.3.3 Acetaminofén para VATS

El paracetamol puede reducir significativamente el dolor postoperatorio en pacientes con VATS. En un pequeño ensayo controlado aleatorio (ECA) en pacientes con VATS, el acetaminofén IV pudo lograr efectos analgésicos cercanos al ketorolaco. El paracetamol y los medicamentos antiinflamatorios no esteroideos (AINE) tienen efectos analgésicos sinérgicos que resultan en requerimientos de opioides mucho más bajos en comparación con cualquiera de los medicamentos solos. Similar a la toracotomía, el mismo estudio retrospectivo que evalúa la estancia hospitalaria, el tiempo hasta la extubación y el tiempo de ingreso en la UCI también demostró los beneficios del paracetamol en pacientes con VATS.

El paracetamol debe utilizarse en todos los pacientes sin una fuerte contraindicación dada su eficacia y seguridad (Hamilton et al., 2022).

3.3.4 Medicamentos antiinflamatorios no esteroideos (AINE)

Los AINE inhiben la vía de la COX para reducir la producción de prostaglandinas y mejorar el control del dolor. El ibuprofeno oral a una dosis de 400mg es casi tan efectivo como 10mg de morfina intramuscular y el ketorolaco a una dosis de 30mg también tiene efectos analgésicos similares a 10mg de morfina. Un metaanálisis demostró que el celecoxib

preoperatorio a dosis de 200mg fue capaz de lograr una reducción promedio de 4mg del consumo de morfina y condujo a menores puntuaciones de dolor, náuseas y vómitos postoperatorios (PONV).

Los AINE no específicos, como el ibuprofeno y el ketorolaco, inhiben las isoformas COX-1 y COX-2, lo que conlleva posibles riesgos de sangrado relacionados con la disfunción plaquetaria, así como lesión renal aguda (IRA) y daño a la mucosa gastrointestinal.

Los inhibidores específicos de la COX-2 se desarrollaron en la última década con el objetivo de mejorar la tolerancia gastrointestinal y reducir los riesgos potenciales de sangrado; sin embargo, presentan un riesgo similar de lesión renal al de los AINE no selectivos. Los eventos cardiovasculares adversos graves obligaron a retirar varios inhibidores de la COX-2 del mercado, permaneciendo disponible únicamente el celecoxib (Hamilton et al., 2022).

3.3.5 AINE para la toracotomía

La indometacina ha demostrado reducir el dolor y disminuir el consumo de opioides tras la toracotomía. Efectos similares se han observado con el diclofenaco sin evidenciarse riesgos de sangrado. En pacientes tratados con morfina mediante analgesia controlada por el paciente (PCA), el ketorolaco redujo los requerimientos de opioides en el postoperatorio de toracotomía. Incluso cuando se combina con analgesia epidural torácica, los AINE mantienen sus beneficios: el ketorolaco disminuye el dolor y el consumo de opioides, y puede mejorar la función pulmonar después de la toracotomía. Por su parte, el celecoxib se ha asociado con puntuaciones de dolor más bajas tanto en reposo como con la tos, además de una mayor satisfacción del paciente tras la toracotomía (Hamilton et al., 2022).

3.3.6 AINE para VATS

Los efectos analgésicos de los AINE también se pueden observar en el VATS. Un pequeño estudio controlado aleatorizado demostró que el diclofenaco y el ketorolaco fueron igualmente efectivos para reducir el consumo de opioides después de VATS sin efectos significativos en el sangrado. El ketorolaco y el acetaminofén pueden proporcionar analgesia similar después de VATS y en combinación pueden proporcionar analgesia comparable a la morfina después de VATS.

Según la literatura actual, a menos que los pacientes tengan contraindicaciones, incluidas: un alto riesgo de sangrado, insuficiencia renal o sangrado gastrointestinal, los AINE deben considerarse fuertemente como parte de la analgesia multimodal tanto para la toracotomía como para los procedimientos de VATS (Hamilton et al., 2022).

3.3.7 Antagonistas del receptor de N-metil-D-aspartato (NMDA)

La ketamina, un antagonista del receptor NMDA, es un potente analgésico que potencia los efectos de los opioides, mejorando la analgesia y reduciendo el consumo de estos en el período postoperatorio inmediato. Además, puede prevenir la tolerancia aguda a los opioides, disminuir la sensibilización central a la señal nociceptiva y reducir la inflamación relacionada con la cirugía.

El efecto analgésico de la ketamina parece ser más pronunciado en ciertos procedimientos, como la cirugía de columna y abdominal, en comparación con otros, como la artroplastia. No obstante, puede provocar efectos secundarios psicomiméticos, como alucinaciones y pesadillas. El estudio *Prevention of Delirium and Complications Associated with Surgical Treatments* (PODCAST) encontró que una dosis única de ketamina en pacientes mayores incrementó la incidencia de alucinaciones y pesadillas.

El magnesio, que también posee propiedades antagonistas del receptor NMDA, se utiliza como analgésico no opioide y puede aportar beneficios potenciales, incluyendo mejoría del dolor y reducción en los requerimientos de opioides, con pocos efectos adversos (Hamilton et al., 2022).

3.3.8 Antagonistas del receptor NMDA en toracotomía

En el contexto de dolor agudo tras toracotomía, la ketamina ha demostrado reducir eficazmente las puntuaciones de dolor y el consumo de opioides, ya sea administrada como un bolo único o combinada con morfina en analgesia controlada por el paciente (PCA) cuando la analgesia epidural torácica no es factible. Su utilidad como coadyuvante de la analgesia epidural torácica es menos concluyente.

El magnesio, por su parte, puede reducir el consumo de opioides en pacientes sometidos a toracotomía que no reciben analgesia epidural torácica. Datos observacionales

limitados sugieren que podría aportar beneficios tanto en el dolor agudo como crónico posterior a la toracotomía, aunque se requieren más estudios para confirmar estos hallazgos (Hamilton et al., 2022).

3.3.9 *Antagonistas del receptor NMDA en VATS*

La evidencia sobre la utilidad de la ketamina en cirugía toracoscopia asistida por video (VATS) es limitada. Tras la realización de un bloqueo paravertebral multinivel no se ha demostrado que la adición de una infusión de ketamina aporte beneficios adicionales.

En dosis subanestésicas proporciona analgesia profunda y modula la respuesta inflamatoria al disminuir la liberación de citocinas. No obstante, a dosis más elevadas puede producir efectos adversos importantes como disociación, alucinaciones, estimulación simpática excesiva y, en algunos casos, depresión miocárdica. Su uso racional, ajustado a dosis bajas, puede representar un recurso eficaz dentro del esquema multimodal, especialmente en pacientes con tolerancia a opioides o dolor neuropático (Hamilton et al., 2022).

3.3.10 *Gabapentinoides*

La gabapentina y la pregabalina actúan inhibiendo los canales de calcio dependientes de voltaje, lo que disminuye la liberación de neurotransmisores excitatorios y atenúa la transmisión de las señales nociceptivas. Numerosos estudios han evaluado la eficacia de la gabapentina para reducir el dolor postoperatorio y los requerimientos de opioides, aunque con resultados contradictorios.

Una revisión sistemática de 2015 encontró una asociación entre la administración de gabapentina y la reducción tanto del dolor postoperatorio como del consumo de opioides. En cuanto a seguridad, un gran estudio retrospectivo identificó que la gabapentina se asoció con depresión respiratoria, especialmente en pacientes mayores que habían recibido opioides intraoperatorios. Tanto la gabapentina como la pregabalina pueden aumentar la sedación.

3.3.11 Gabapentinoides en toracotomía

- Sattari et al. demostraron que, en ausencia de analgesia epidural torácica, una dosis única preoperatoria de pregabalina redujo las puntuaciones de dolor y el consumo de opioides en las primeras 24 horas, aunque el cambio porcentual fue pequeño.
- Omran et al. observaron que la administración preoperatoria de gabapentina, continuada durante dos días tras la cirugía, se asoció con menor dolor y uso de opioides, incluso con analgesia epidural torácico.
- Sin embargo, un ensayo prospectivo de mayor tamaño no encontró beneficios de la gabapentina como coadyuvante de, hallazgo que también se replicó en población pediátrica sometida a cirugía torácica con analgesia epidural torácico (Hamilton et al., 2022).

3.3.12 Gabapentinoides en VATS

La evidencia es limitada. En un estudio de cohorte mixto, la gabapentina no mostró beneficios en VATS, mientras que una sola dosis de pregabalina redujo las puntuaciones de dolor, pero no el consumo de opioides en pacientes jóvenes y sanos. La utilidad de los gabapentinoides para prevenir el dolor crónico tras cirugía torácica continúa siendo controvertida.

Conclusión clínica: debido a su cuestionable relevancia clínica y a los posibles efectos adversos —incluyendo sedación, mareo y depresión respiratoria sinérgica con opioides—, no se recomienda su uso rutinario en el contexto agudo de la cirugía torácica (Hamilton et al., 2022).

3.3.13 Lidocaína

Los procesos inflamatorios postquirúrgicos se asocian con dolor, disfunción cognitiva, arritmias e insuficiencia renal aguda (IRA). La lidocaína intravenosa posee propiedades antiinflamatorias y puede reducir el dolor y el consumo de opioides, aunque la evidencia sobre su relevancia clínica es inconsistente.

3.3.14 Lidocaína en toracotomía

- Un pequeño ensayo aleatorizado comparó infusión IV de lidocaína frente a placebo en cirugía torácica (sin especificar técnica quirúrgica), encontrando menor dolor y consumo de opioides en las primeras seis horas postoperatorias.
- Otro estudio, limitado por su pequeño tamaño muestral, no halló diferencias en dolor ni consumo de opioides.

3.3.15 Lidocaína en VATS

Varios ensayos aleatorizados no evidenciaron beneficios en reducción de dolor o consumo de opioides hasta 48 horas tras VATS ni mejora en la recuperación.

Conclusión clínica: debido a los resultados negativos en VATS y al riesgo de toxicidad sistémica por anestésicos locales, la lidocaína IV no debería formar parte rutinaria de una estrategia multimodal, salvo en toracotomías sin uso de anestesia regional (Hamilton et al., 2022).

3.3.16 Corticosteroides

Los glucocorticoides, como la dexametasona, se emplean habitualmente en el perioperatorio para prevenir náuseas y vómitos postoperatorios (PONV), aportando, además, un efecto analgésico probablemente mediado por su acción antiinflamatoria.

- Diversas revisiones sistemáticas han mostrado que la administración intraoperatoria de dexametasona reduce el dolor postoperatorio, acorta la estancia en la unidad de recuperación y disminuye el consumo de opioides.
- No se ha encontrado aumento en la incidencia de infecciones ni retraso en la cicatrización, aunque la hiperglucemia es un efecto adverso conocido

Conclusión clínica: la dexametasona debe considerarse para todos los pacientes sometidos a cirugía torácica, salvo contraindicaciones absolutas. No hay datos específicos que diferencien su eficacia entre toracotomía y VATS (Hamilton et al., 2022).

3.3.17 Opioides

Los opioides, por su parte, continúan siendo utilizados en el manejo del dolor postoperatorio, aunque su papel ha cambiado en los últimos años. Se administran por vías intravenosa, epidural, intratecal, oral o transdérmica y la analgesia intravenosa controlada por el paciente (PCA) con opioides fue durante mucho tiempo el estándar en el tratamiento del dolor tras toracotomía. Sin embargo, su uso ha pasado de ser la piedra angular del tratamiento analgésico a una estrategia de rescate, debido a su estrecha ventana terapéutica, potencial adictivo y perfil de efectos secundarios indeseables, que incluyen depresión respiratoria, retención de secreciones, somnolencia, náuseas, vómitos, estreñimiento y riesgo de dependencia.

En este contexto, la creciente preocupación social y médica por la epidemia de opioides ha llevado a un cambio de paradigma en la prescripción de estos fármacos: solo en 2017 se reportaron más de 49 000 muertes por sobredosis relacionadas con opioides en Estados Unidos. Como respuesta, los profesionales de la salud han adoptado enfoques de analgesia multimodal con el fin de minimizar el uso de opioides (O'Neill & Lirk, 2022).

Capítulo 4. Técnicas regionales avanzadas para el manejo del dolor postoperatorio en cirugías de *pectus excavatum*

El surgimiento de la anestesia regional guiada por ultrasonido ha dado lugar al desarrollo de los bloqueos fasciales de la pared torácica, los cuales se caracterizan por administración de volúmenes generosos de anestésico local, la infiltración en planos músculo fasciales que contienen nervios, en lugar de inyectar directamente alrededor de nervios específicos y la inyección a distancia de estructuras críticas como la médula espinal, los grandes vasos o la pleura. Estas técnicas han proliferado tanto en número como en popularidad al posicionarse como alternativas más seguras y técnicamente más sencillas en comparación con la anestesia epidural torácica y el bloqueo paravertebral (Chin et al., 2021).

La ecografía ofrece la ventaja de realizar un procedimiento con visualización en tiempo real de las estructuras principales como la pleura, la vasculatura y los nervios, los cuales no se pueden ver mediante fluoroscopia. Por lo tanto, el procedimiento de inyección guiada por ultrasonido no solo previene eventos adversos relacionados con el procedimiento, sino que también permite precisión (D. Park & Chang, 2022).

A continuación, se revisará a detalle las principales técnicas aplicables para el manejo del dolor postoperatorio en cirugía de *pectus excavatum* desde la analgesia epidural torácica, hasta técnicas regionales como bloqueo paravertebral, bloqueo del plano del erector de la columna, bloqueo del plano serrato anterior, bloqueos pectorales, del nervio intercostal y crioblación.

4.1 Analgesia epidural torácica

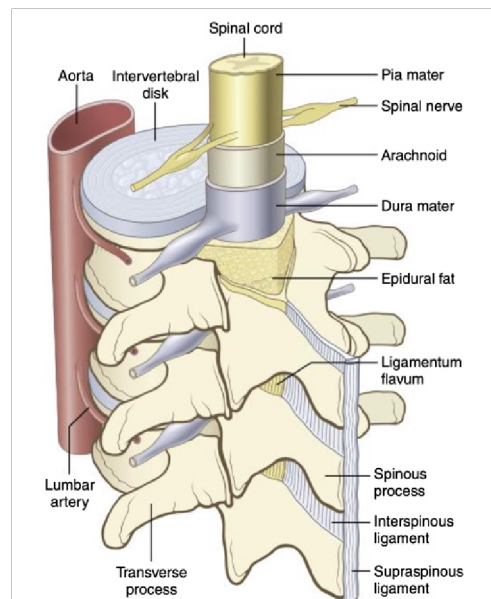
4.1.1 Anatomía

La médula espinal es continua con el bulbo raquídeo en su extremo proximal y finaliza distalmente en el cono medular en adultos, prolongándose luego como la cauda equina (extensión de raíces nerviosas). Este nivel de terminación varía en los lactantes, por lo que la punción espinal debe realizarse a niveles más caudales en este grupo etario para evitar lesiones.

La médula espinal se encuentra contenida dentro del canal vertebral óseo y está rodeada por tres capas meníngeas: la piamadre, la aracnoides y la duramadre (Fig. 3). La piamadre es la capa más interna y presenta una gran vascularización.

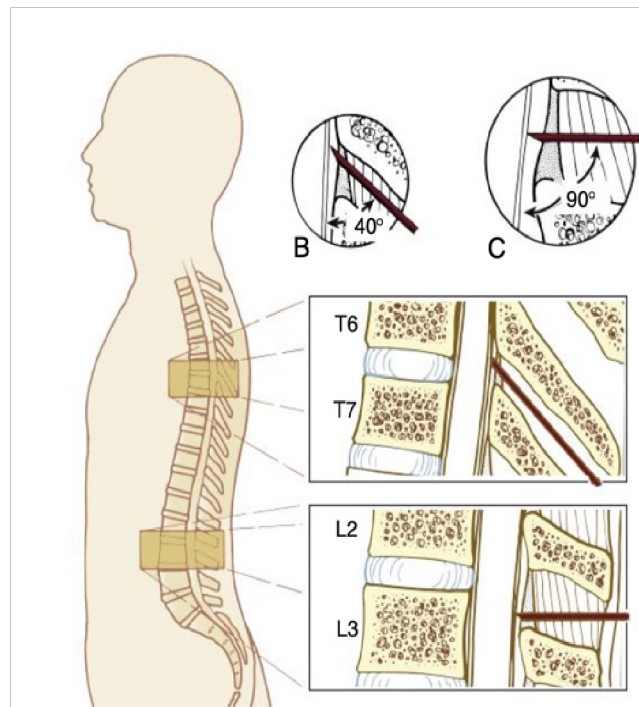
El ligamento *flavum* (latín para “ligamento amarillo”) también se extiende desde el *foramen magno* hasta el hiato sacro y está compuesto por los ligamentos *flavum* derecho e izquierdo que se unen para formar una línea media aguda (Fig. 3) (Brown & Mariano, 2022).

Figura 3. La columna vertebral en vista oblicua.



Nota. Tomado de (Brown & Mariano, 2022).

Figura 4. Técnica de anestesia epidural lumbar y torácica.



Nota. Tomado de (Brown & Mariano, 2022).

Nervios espinales: las raíces nerviosas dorsal (aférente) y ventral (eferente) se fusionan distalmente al ganglio de la raíz dorsal para formar los nervios espinales. Existen 31 pares de nervios espinales distribuidos como sigue: 8 cervicales, 12 torácicos, 5 lumbares, 5 sacros y 1 coccígeo.

Los nervios espinales atraviesan el foramen intervertebral envueltos por las tres meninges: duramadre, aracnoides y piamadre, las cuales se transforman respectivamente en el epineuro, perineuro y endoneuro a medida que se integran a las cubiertas del nervio periférico.

Irrigación sanguínea: dos arterias espinales posteriores irrigan el tercio posterior de la médula espinal, mientras que una sola arteria espinal anterior proporciona irrigación a los dos tercios anteriores de la médula. Una de las principales arterias del sistema anterior es la arteria de Adamkiewicz que generalmente se origina en la aorta y penetra el canal vertebral a través de un foramen intervertebral entre los niveles T7 y L4, usualmente en el lado izquierdo.

Las venas espinales longitudinales anteriores y posteriores se conectan con las venas radicales segmentarias anteriores y posteriores, y finalmente drenan hacia el plexo venoso vertebral interno, a través de sus componentes mediales y laterales. Estos drenan en el sistema ácigos (Brown & Mariano, 2022).

4.1.2 Relevancia clínica

Históricamente, la analgesia epidural torácica ha sido considerada el estándar de oro para el control del dolor tras la reparación quirúrgica del *pectus excavatum* (Chiu et al., 2024).

Una analgesia epidural eficaz puede facilitar la extubación temprana, optimizar la mecánica ventilatoria y mejorar el intercambio gaseoso (Yeung et al., 2016). Su colocación en pacientes bajo anestesia general puede realizarse de manera segura por profesionales experimentados, siempre que se respeten los protocolos establecidos para prevenir complicaciones hemorrágicas, infecciosas o neurológicas (Sarridou et al., 2023).

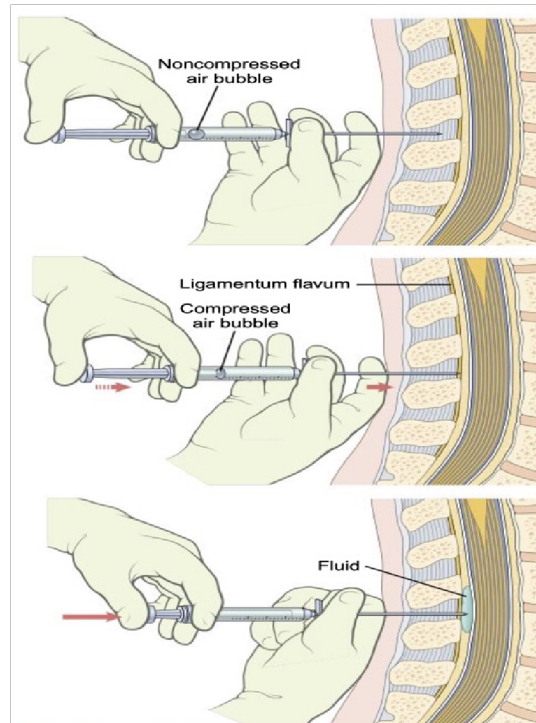
4.1.3 Técnica

El paciente debe colocarse en posición sentada sobre una superficie plana con los muslos paralelos al suelo y los pies apoyados firmemente. La columna vertebral debe mantenerse vertical y flexionada desde la cintura, evitando la flexión desde las caderas. Una línea horizontal trazada entre las crestas ilíacas (línea de Tuffier) cruza generalmente el espacio intervertebral L3–L4 o la apófisis espinosa de L4. Para el abordaje torácico, el ángulo inferior de la escápula se alinea con la apófisis espinosa de T7. Todo el equipo y los fármacos deben prepararse sobre una superficie estéril.

Se sentirá resistencia a la inyección al atravesar el ligamento interespinoso. Al contactar con el ligamento amarillo suele percibirse un cambio táctil (aumento de resistencia o sensación arenosa). Cuando la punta de la aguja atraviesa el ligamento amarillo y entra en el espacio epidural se produce una pérdida súbita de resistencia, permitiendo que el contenido de la jeringa se inyecte fácilmente.

En el abordaje por línea media, cuando la aguja se encuentra en el ligamento interespinoso se retira el mandril y se conecta la jeringa de pérdida de resistencia a la aguja epidural. Se apoya el dorso de la mano no dominante sobre la espalda del paciente, mientras que el pulgar e índice (o el dedo medio) sujetan firmemente las alas o el cuerpo de la aguja de Tuohy (McClymont & Celnick, 2018).

Figura 5. Técnica de pérdida de resistencia.



Nota. Tomado de (Brown & Mariano, 2022).

Una aguja epidural estándar posee un vástago de 8cm y una longitud total de 10 cm. En caso de obtener sangre o salida de líquido cefalorraquídeo (LCR), la aguja debe retirarse de inmediato. Ante dudas diagnósticas, se recomienda analizar el líquido extraído en busca de glucosa: el LCR arrojará un resultado positivo, mientras que la solución salina no contenga glucosa (McClymont & Celnick, 2018).

A- Características del catéter

Los catéteres epidurales suelen ser transparentes y flexibles, con una longitud que varía entre 60 y 100 cm. Generalmente, presentan una punta ciega, flexible y coloreada, acompañada de tres orificios laterales. Las marcas de profundidad, espaciadas cada 1 cm desde la punta, suelen extenderse hasta los 20 o 25 cm. Una guía plástica interna facilita su introducción a través del lumen de la aguja. El extremo proximal del catéter se conecta a un adaptador compatible con jeringas o sistemas de infusión (McClymont & Celnick, 2018).

B- Técnica de inserción

El catéter, previamente cebado con solución salina, se introduce hasta una profundidad de 4 a 5 cm dentro del espacio epidural. En pacientes con índice de masa corporal elevado puede considerarse una inserción ligeramente más profunda. Dejar menos de 4 cm del catéter en el espacio epidural incrementa el riesgo de desplazamiento o salida accidental, mientras que introducir más de 5 cm aumenta la probabilidad de formación de nudos o de fuga del anestésico a través de los forámenes intervertebrales, lo que podría ocasionar un bloqueo unilateral (McClymont & Celnick, 2018).

C- Dosis de prueba

Idealmente, la dosis de prueba permite confirmar o descartar una colocación inadvertida del catéter en el espacio subaracnoideo o en un vaso sanguíneo, con el fin de prevenir efectos adversos como anestesia espinal alta o toxicidad por anestésicos locales.

Se suelen administrar entre 2 y 3 ml de levobupivacaína al 0,5 % o lidocaína al 2 % a través del catéter. La aparición súbita de bloqueo motor en las extremidades inferiores o de bloqueo sensitivo en los dermatomas lumbares inferiores dentro de los primeros cinco minutos sugiere firmemente una colocación subaracnoidea.

La identificación de una colocación intravascular es más difícil. Debe observarse signos tempranos de toxicidad sistémica por anestésicos locales, como parestesias peri orales, sabor metálico o acúfenos. Si se añade adrenalina a la dosis de prueba, un aumento significativo de la frecuencia cardíaca también puede sugerir inyección intravascular.

Es importante destacar que ninguno de estos métodos posee sensibilidad o especificidad suficientes como para ser considerado completamente confiable de forma aislada. En procedimientos combinados de anestesia general y epidural, la dosis de prueba debe administrarse antes de inducir la anestesia general (McClymont & Celnick, 2018).

4.1.4 Consideraciones

Kostelka et al. (2022) llevaron a cabo un estudio de cohorte retrospectivo que comparó la analgesia epidural torácica con la infusión intravenosa continua de morfina en pacientes sometidos al procedimiento de Ravitch.

Ambos grupos presentaron puntuaciones de dolor similares durante las primeras 72 horas postoperatorias; sin embargo, los pacientes con analgesia epidural mostraron un menor consumo acumulado de opioides y una tendencia hacia una menor duración de la ventilación mecánica. No se observaron diferencias significativas en la estancia hospitalaria ni en la incidencia de efectos adversos.

Los autores concluyeron que la analgesia epidural torácica representa una opción eficaz dentro del enfoque multimodal para el manejo del dolor postoperatorio (Fenikowski & Tomaszek, 2022).

4.1.5 Complicaciones

Los catéteres epidurales torácicos son generalmente considerados seguros; sin embargo, se han documentado complicaciones graves, tales como lesión medular, hematoma epidural, absceso epidural y bloqueo subaracnoideo inadvertido. Además, se han reportado secuelas neurológicas crónicas asociadas al uso de analgesia epidural torácica en pacientes sometidos al procedimiento de Nuss, lo cual ha generado preocupación respecto a su perfil de seguridad en esta población específica (Chen et al., 2023).

Entre las complicaciones neurológicas, permanentes o transitorias, la más temida es la paraplejía, especialmente cuando la colocación del catéter se realiza bajo anestesia general. La localización torácica del sitio de inserción, en cercanía al ángulo costovertebral, incrementa el riesgo de daño neurológico. La incidencia de lesión nerviosa permanente es baja (aproximadamente 1:10,000), pero debe discutirse durante la evaluación preanestésica y documentada en el consentimiento informado. Por otro lado, se ha observado que el uso de analgesia epidural torácica supone una mayor carga asistencial para los servicios de anestesia (Chiu et al., 2024).

Por su parte, Manassero et al. (2020) evaluaron retrospectivamente más de 3000 pacientes sometidos a cirugía torácica mayor y abdominal, encontrando tasas relevantes de efectos adversos asociados al uso de analgesia epidural torácica con combinaciones de anestésico local y opioides (morfina, fentanilo, sufentanilo): bloqueo motor (~20 %), prurito (~20 %), náuseas y vómitos (~11 %) y retención urinaria (~11 %), con baja incidencia de depresión respiratoria. A pesar de estos eventos, la técnica fue eficaz en la mayoría de los

casos y los catéteres rara vez requirieron retiro anticipado, lo cual respalda su perfil de seguridad bajo vigilancia adecuada (Manassero et al., 2020).

Finalmente, si bien, las complicaciones mayores a largo plazo son infrecuentes, pueden tener consecuencias devastadoras. Por ello, la selección cuidadosa de pacientes, el cumplimiento riguroso de la técnica aséptica, la monitorización continua y la implementación de protocolos de vigilancia son fundamentales al optar por la analgesia epidural torácica en la reparación quirúrgica del *pectus excavatum* (Janssen et al., 2023).

4.2 Bloqueo paravertebral

4.2.1 Anatomía

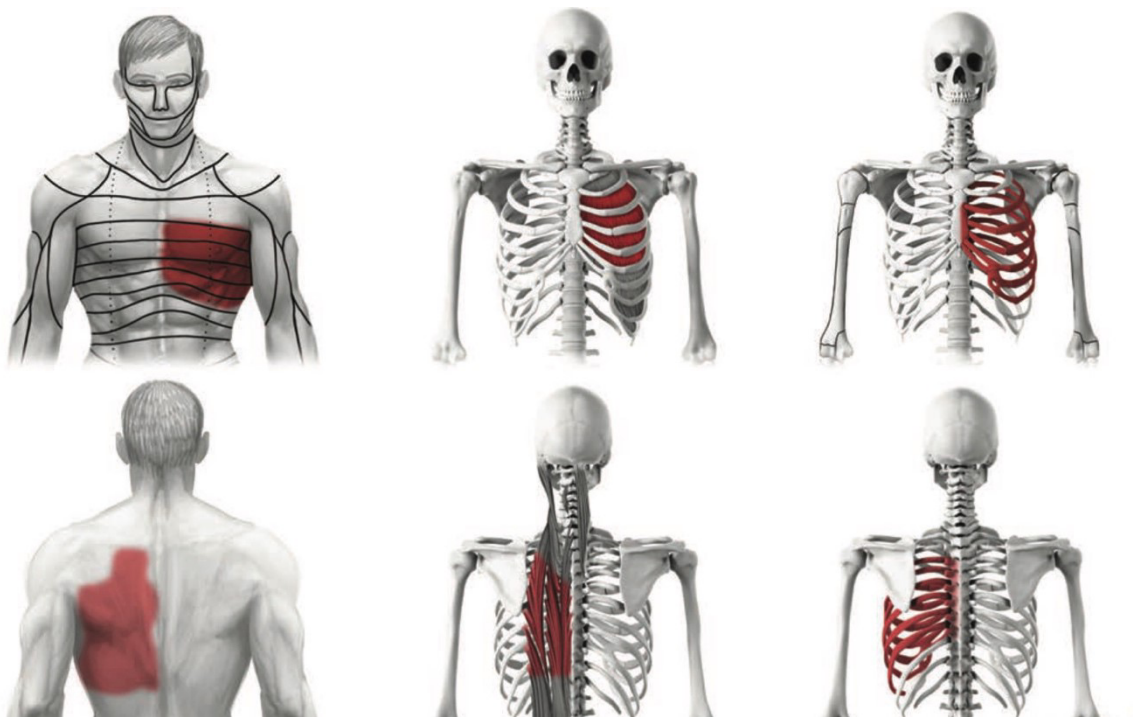
El espacio paravertebral torácico (EVP) es un espacio cuneiforme, cuya base se orienta hacia los lados de los cuerpos vertebrales y los agujeros intervertebrales, y cuyo vértice continúa con los espacios intercostales. Está delimitado posteriormente por el ligamento costotransverso superior, antero lateralmente por la pleura, medialmente por las vértebras y los agujeros intervertebrales, y superior e inferiormente por las costillas. Generalmente se considera que termina en L1 sin un borde craneal definido. Cada segmento del EVP se comunica superior e inferiormente sobre la cabeza y el cuello de la costilla, y a veces se compartimenta en secciones anterior y posterior por la fascia endotorácica.

Este espacio contiene la ramificación del nervio espinal, las fibras nerviosas simpáticas y los vasos intercostales embebidos en el tejido adiposo y suele ser continuo a lo largo de los niveles torácicos. La orientación del haz neurovascular cambia de medial a lateral en el EVP, los vasos y nervios intercostales surgen antero medialmente, pero finalmente se sitúan directamente debajo de la costilla, entre los músculos intercostales internos (Ardon et al., 2020).

4.2.2 Relevancia clínica

Una inyección única de anestésico local en el espacio paravertebral de 15–20ml (o 0,25ml/kg) produce un bloqueo somático segmentario ipsilateral sobre cinco dermatomas y un bloqueo simpático sobre ocho dermatomas (Fig. 6). Los catéteres paravertebrales se colocan habitualmente de manera bilateral en T4–T6 para la reparación de *pectus excavatum* (Chen et al., 2023).

Figura 6. Distribución de la anestesia en el bloqueo paravertebral.



Nota. Tomado de (Buck, et al., 2021).

4.2.3 Técnica

Se identifica el borde superior del proceso espinoso correspondiente al nivel deseado con el paciente en posición sentada. La localización de las apófisis transversas puede variar dependiendo del nivel vertebral seleccionado para el bloqueo, estudios cadavéricos han demostrado que las apófisis transversas torácicas identificadas durante la colocación del bloqueo paravertebral tienden a correlacionarse con la apófisis espinosa del cuerpo vertebral ubicado un nivel por encima.

El uso de la ecografía permite una identificación precisa de los puntos de referencia anatómicos claves, así como el seguimiento en tiempo real de la trayectoria y posición de la aguja. Es fundamental visualizar completamente la aguja para evitar complicaciones neuro axiales, así como para identificar el ligamento costotransverso superior y observar el desplazamiento anterior de la pleura, aspectos críticos en determinadas técnicas guiadas por imagen.

En teoría, la visualización directa de la aguja mediante ultrasonido reduce el riesgo de efectos adversos y confirma la correcta colocación del anestésico local, evidenciada por el desplazamiento pleural anterior. La sonda de ultrasonido se coloca generalmente en orientación transversal (Fig. 7A) o sagital (Fig. 7B), aunque se han propuesto variantes a estos abordajes. La elección del enfoque determinará los puntos de referencia anatómicos que podrán ser identificados con mayor precisión (Ardon et al., 2020a).

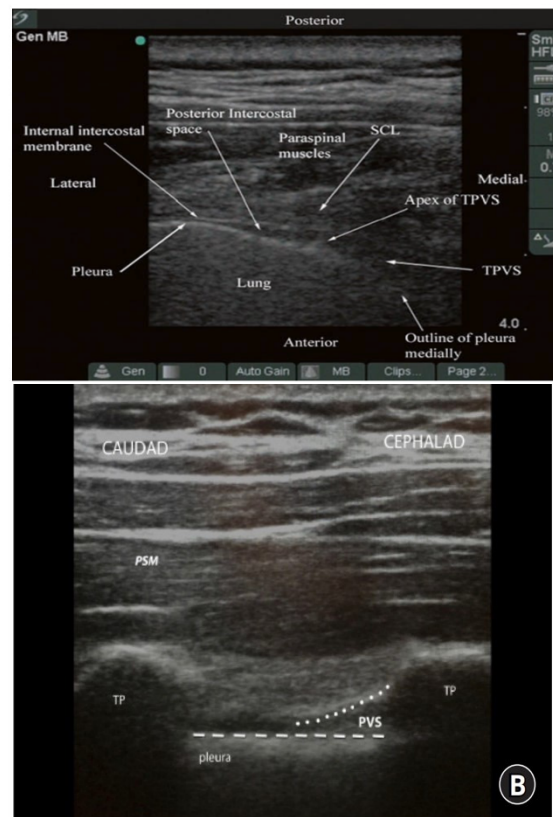
A. Orientación transversal de la sonda ecográfica

Cuando se orienta la sonda de ultrasonido en plano transversal (Fig. 8), los puntos de referencia anatómicos claves varían en función del abordaje utilizado respecto a la costilla y al proceso articular inferior. En esta vista también pueden visualizarse la pleura parietal, la pleura visceral y la membrana intercostal interna. La mayoría de los abordajes están dirigidos a posicionar la punta de la aguja entre los músculos intercostales interno e íntimo, siguiendo una trayectoria lateral-medial y empleando una técnica en plano. Sin embargo, también se ha descrito un abordaje fuera de plano con trayectoria medial-lateral.

B. Orientación sagital de la sonda ecográfica

La costilla actúa como límite lateral del desplazamiento transversal de la sonda, cuando la sonda se posiciona en orientación sagital, mientras que el proceso transversal sirve como límite medial. Esta disposición permite visualizar adecuadamente el espacio paravertebral (PVS), lo cual es esencial para una correcta administración del anestésico local en técnicas de bloqueo paravertebral guiadas por ultrasonido (Ardon et al., 2020a).

Figura 7. Vistas ecográficas del espacio paravertebral (EPV).



Nota. Tomado de (Ardon et al., 2020). (A) Plano transversal. (B) Plano sagital.

4.2.4 Consideraciones

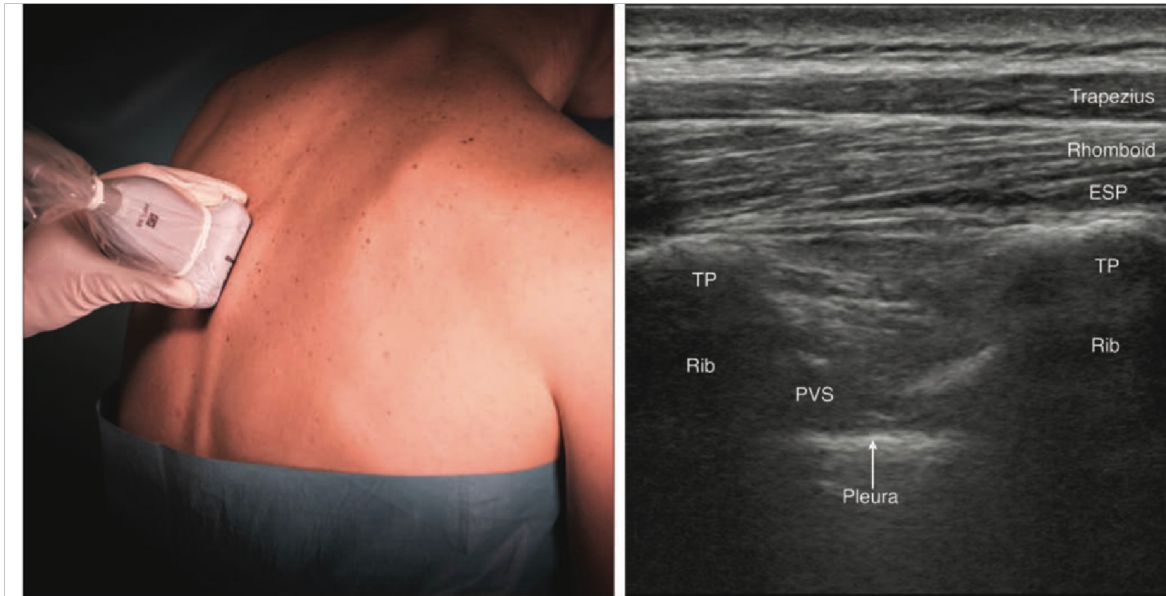
Tanto los estudios en cadáveres como los estudios *in vivo* han demostrado que los abordajes guiados por ecografía pueden lograr una adecuada dispersión del inyectado dentro del espacio paravertebral. El desplazamiento pleural puede ser un punto final visual confiable para confirmar la correcta deposición del anestésico local.

Si bien, el uso de la guía ecográfica permite visualizar directamente el avance de la aguja durante el bloqueo, deben tenerse siempre en cuenta el riesgo de lesión neuro axial al dirigir una aguja de lateral a medial, así como la imposibilidad de visualizar la totalidad de la aguja en el abordaje fuera de plano.

El uso de la visualización ecográfica puede ser de gran ayuda para identificar (y, por lo tanto, evitar) el paquete neurovascular. Con la identificación adecuada de estas estructuras

vasculares, la aguja del bloqueo puede manipularse de manera que se disminuya el riesgo de lesión neural o vascular (Ardon et al., 2020a).

Figura 8. Bloqueo paravertebral.



Nota. Tomado de (Buck, et al., 2021). TP, proceso transversal; ESP, músculos erectores de las espinas; PVS, espacio paravertebral; EIM, músculo intercostal externo.

4.2.5 Complicaciones

Aunque los efectos adversos graves asociados al bloqueo paravertebral (PVB) son relativamente infrecuentes, pueden incluir, entre otros: punción pleural, neumotórax, punción vascular, lesión nerviosa (tanto central como periférica), daño a órganos adyacentes, toxicidad por anestésicos locales, reacciones adversas a medicamentos coadministrados, cefalea postpunción dural y difusión no deseada del anestésico local hacia estructuras centrales o periféricas.

El bloqueo paravertebral se considera menos invasivo que la analgesia epidural torácica, debido a que no implica el acceso directo al eje neural central (médula espinal), lo cual disminuye el riesgo potencial de daño neurológico severo y parálisis medular (Chen et al., 2023).

4.3 Bloqueo del plano del erector de la columna (ESPB)

Fue descrito por primera vez por Forero et al. en 2016 para el tratamiento del dolor neuropático torácico crónico y el dolor postoperatorio en cirugía torácica. Desde entonces se han publicado numerosos artículos que describen la aplicación de la técnica para una amplia variedad de escenarios clínicos (Muhly et al., 2019).

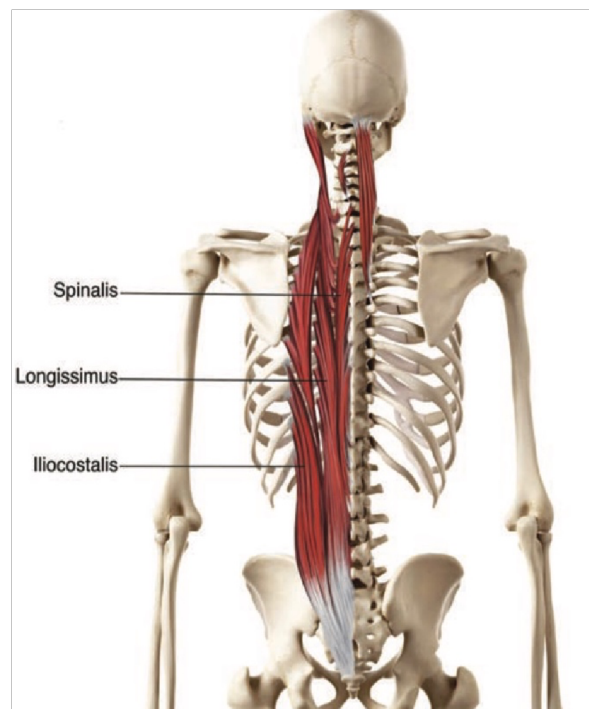
El bloqueo del plano erector de la columna (ESPB por sus siglas en inglés) se ha utilizado como la modalidad principal para el manejo del dolor de la cirugía torácica posoperatoria, así como un puente hasta que se logre el efecto completo de la crioblación (Chiu et al., 2024).

4.3.1 Anatomía

Los músculos erectores de la columna están conformados por tres componentes principales: el iliocostal, el longísimo torácico y el espinal (Fig. 9). Estos músculos discurren en forma paralela a lo largo de ambos lados de la columna vertebral, extendiéndose desde la base del cráneo hasta la pelvis y la región sacra, Asimismo, se proyectan desde la columna hacia apófisis transversas, con inserciones relacionadas con las costillas. Su tamaño y morfología varían según el nivel vertebral. Están inervados por las ramas dorsales de los nervios espinales y cumplen funciones clave en la estabilización del raquis, la extensión de la columna vertebral y la flexión lateral del tronco.

El bloqueo del plano del erector de la espina (ESP) consiste en la inyección de anestésico local (AL) en el plano fascial profundo al músculo erector de la columna, a nivel de la punta de la apófisis transversa. Esta técnica favorece la difusión cráneo-caudal dentro del plano fascial y puede alcanzar, aproximadamente, un dermatoma por cada 3,4 ml de volumen administrados (López, Bolocco, et al., 2021).

Figura 9. Anatomía del músculo erector espinal.

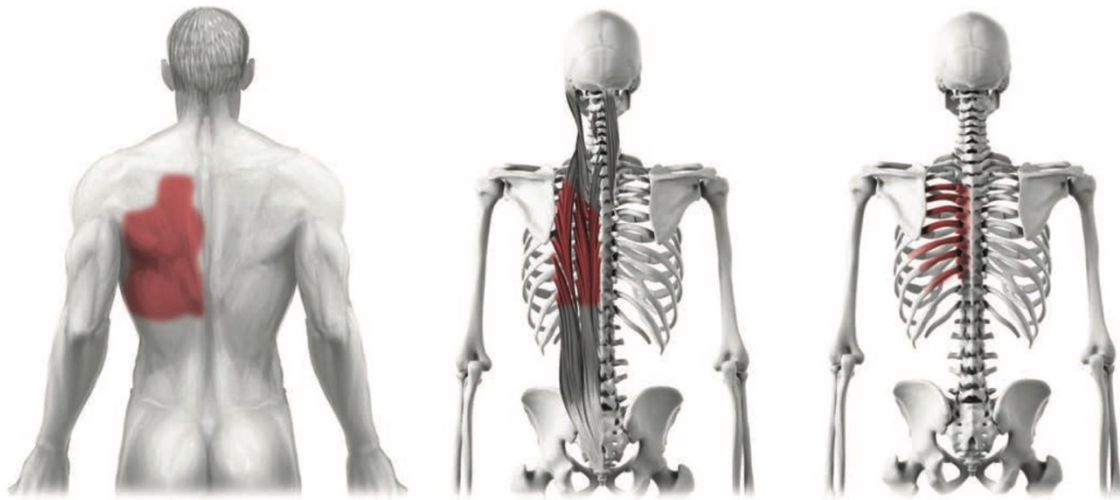


Nota. Tomado de (López, Bolocco, et al., 2021).

Además, se ha demostrado que el anestésico local se disemina en dirección anterior hacia los espacios paravertebral y epidural, y en sentido lateral hacia el espacio intercostal en múltiples niveles. El efecto analgésico puede involucrar tanto la rama ventral como la rama dorsal del nervio espinal. La rama ventral (nervio intercostal) se bifurca en ramas anterior y lateral, cuyas terminaciones proporcionan inervación sensitiva a toda la pared torácica anterolateral. Por su parte, la rama dorsal se divide en dos ramas terminales que inervan sensorialmente la región posterior del tórax (Fig. 10) (Kot et al., 2019).

La difusión del anestésico local al espacio paravertebral ocurre a través de los forámenes costotransversos y del complejo intertransverso (integrado por ligamentos intertransversos y costotransversos, así como por los músculos elevadores de la costilla, rotadores e intercostales), lo que contribuye a una analgesia tanto somática como visceral. Esta diseminación hacia el espacio epidural y los forámenes neurales ha sido documentada en estudios anatómicos que evaluaron entre dos y cinco niveles vertebrales alrededor del sitio de inyección (Kot et al., 2019).

Figura 10. Distribución sensorial de la rama dorsal del nervio intercostal en un ESPB.



Nota. Tomado de (López, Bolocco, et al., 2021).

4.3.2. Técnica

El bloqueo puede realizarse con el paciente sentado, en decúbito lateral o en decúbito prono. La técnica puede realizarse con el paciente despierto o bajo anestesia general. En los pacientes pediátricos, se recomienda realizar el procedimiento tras la inducción anestésica. En adultos, no existe consenso respecto al abordaje óptimo, sin embargo la técnica con el paciente despierto permite valorar de manera inmediata la eficacia y el nivel de analgesia mediante evaluación sensitiva cutánea.

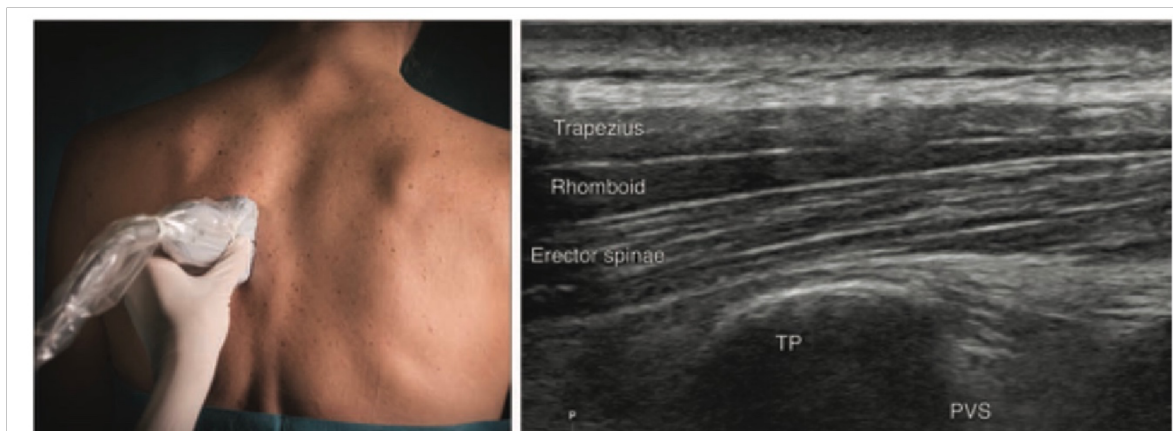
Por lo general, se utiliza un transductor lineal de alta frecuencia para niveles torácicos y un transductor convexo para niveles lumbares. La sonda se coloca inicialmente en orientación transversal para identificar la apófisis espinosa. Una vez confirmado el nivel, la sonda se desplaza 3 cm en sentido lateral hasta visualizar la apófisis transversa. Posteriormente, la sonda se rota 90 grados sobre la apófisis transversa para obtener una vista parasagital.

Se deben identificar tres músculos como superficiales a la sombra hiperecoica de la apófisis transversa que incluyen: el trapecio, el romboides mayor y el erector de la columna (Fig. 11). Esta disposición suele observarse con claridad alrededor de T5 (nivel estándar en ESPB torácico) no obstante el músculo romboides mayor puede no visualizarse en niveles

inferiores) por ejemplo, alrededor de T7. La aguja se inserta en el plano en dirección cráneo-caudal u opuesta, según el objetivo clínico y el nivel seleccionado.

La técnica puede realizarse como inyección única o mediante colocación de un catéter para infusión continua, utilizando la apófisis transversa como referencia. Se recomienda realizar hidrodissección con solución salina y depositar el anestésico local en el plano fascial profundo al erector de la columna, cerca de la punta de la apófisis transversa (Kot et al., 2019).

Figura 11. Posición del transductor y sonoanatomía para realizar un ESPB a nivel de T5.



Nota. Tomado de (López, Bolocco, et al., 2021). TP, proceso transversal; PVS, espacio paravertebral.

4.3.3 Mecanismo de acción del bloqueo del plano del erector espinal

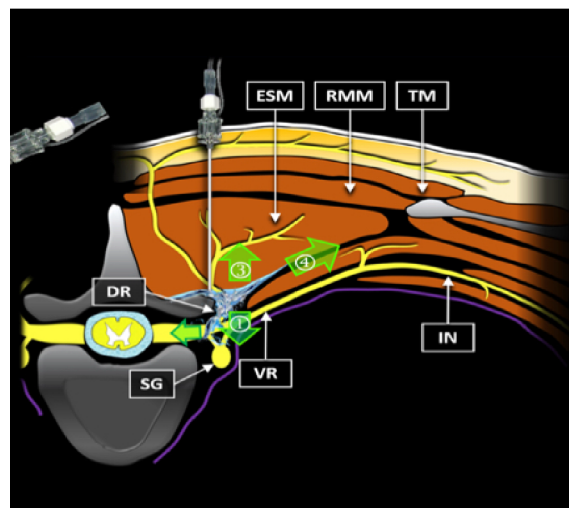
Aunque inicialmente se propuso que el efecto analgésico dependía principalmente de la difusión anterior hacia al espacio paravertebral, los hallazgos cadavéricos y las inconsistencias en la distribución sensorial observadas en estudios clínicos han cuestionado de que este sea el único mecanismo implicado.

En conjunto, se ha planteado que el mecanismo predominante podría corresponder a la difusión local hacia estructuras neurales ubicadas en el plano profundo y en compartimentos adyacentes (Fig. 12), con participación consistente de las ramas dorsales, difusión variable hacia las ramas ventrales y extensión epidural poco frecuente. Otros mecanismos propuestos

—como efecto sistémico, modulación inmunológica o participación biomecánica de la fascia— permanecen como hipótesis no confirmadas (Chin & El-Boghdadly, 2021).

Una inyección única en niveles T4–T6, con volúmenes de 20–30 mL , puede producir un bloqueo sensitivo con extensión amplia, descrita desde T1 hasta L3. Estudios radiológicos han estimado que, en promedio, 2,5 mL de solución anestésica local serían suficientes para cubrir un dermatoma torácico (Chen et al., 2023).

Figura 12. Difusión del anestésico local cuando se inyecta en el plano fascial entre el músculo erector de la columna y la punta de la apófisis transversa.



Nota. Tomado de (Ardon et al., 2020b; Chin & El-Boghdadly, 2021).

4.3.4 Consideraciones

Entre los beneficios descritos, se incluyen: ausencia de simpatectomía cuando no existe extensión epidural o paravertebral significativa, menor riesgo de retención urinaria, menor riesgo de sangrado en pacientes con alteraciones de la coagulación, ausencia de depresión respiratoria y posibilidad de analgesia ambulatoria mediante bomba de infusión al alta (Chen et al., 2023).

La mayoría de los autores coinciden en que el bloqueo del plano del erector de la columna ofrece ventajas significativas en comparación con las técnicas convencionales realizadas en proximidad al neuroeje. En primer lugar, se trata de una técnica relativamente

sencilla de ejecutar, dado que la visualización ecográfica de los planos anatómicos es clara y la dirección de la aguja hacia el objetivo resulta técnicamente accesible. En segundo lugar, presenta un perfil de seguridad favorable porque las estructuras críticas como los grandes vasos, la pleura y la médula espinal se encuentran a una distancia considerable del sitio de depósito del anestésico local, lo que reduce el riesgo de complicaciones graves (Muhly et al., 2019).

Asimismo, se ha propuesto como alternativa analgésica en escenarios donde el bloqueo paravertebral o la analgesia epidural están contraindicados, por ejemplo: rechazo del paciente, trombocitopenia, uso de antiagregantes o anticoagulantes y trastornos de la coagulación. También se ha descrito su utilidad como técnica de segunda línea tras el fallo en la inserción del catéter epidural o ante ineficacia del mismo (Muhly et al., 2019).

4.3.5 Complicaciones

Las complicaciones potenciales incluyen punción vascular o pleural inadvertida y toxicidad sistémica por anestésicos locales. La extensión sensitiva puede involucrar dermatomas ventrales y dorsales con variabilidad entre estudios, pero se ha descrito cobertura principalmente posterior a la línea medio axilar y mínima extensión anterior (Chen et al., 2023).

Xu et al. (2024) realizaron un ensayo clínico aleatorizado, prospectivo y controlado para comparar la eficacia analgésica del ESPB frente al bloqueo paravertebral torácico (TPVB) en pacientes pediátricos sometidos a reparación quirúrgica mínimamente invasiva de *pectus excavatum* mediante la técnica de Nuss. El estudio incluyó a 68 niños entre 4 y 18 años, quienes fueron asignados aleatoriamente a recibir ESPB o TPVB bilateral en T5 con ropivacaína al 0.25% (0.5mL/kg) guiada por ultrasonido, además de analgesia multimodal estandarizada.

Los resultados demostraron que el ESPB fue no inferior al TPVB en cuanto a dolor en reposo a las 24 horas postoperatorias (mediana de diferencia 0; IC95%: 0–1) y tampoco hubo diferencias clínicamente significativas en el consumo total de opioides, dolor durante la tos, aparición de dolor crónico a tres meses ni en la incidencia de efectos adversos. Cabe destacar que el ESPB se asoció con una tasa nula de complicaciones relacionadas al bloqueo, mientras que en el grupo TPVB se reportó un caso de neumotórax. El estudio concluye que

el ESPB representa una alternativa segura, eficaz y menos invasiva al TPVB para analgesia postoperatoria en la población pediátrica intervenida con técnica de Nuss (Yang et al., 2024).

4.4 Bloqueo serrato anterior

4.4.1 Anatomía

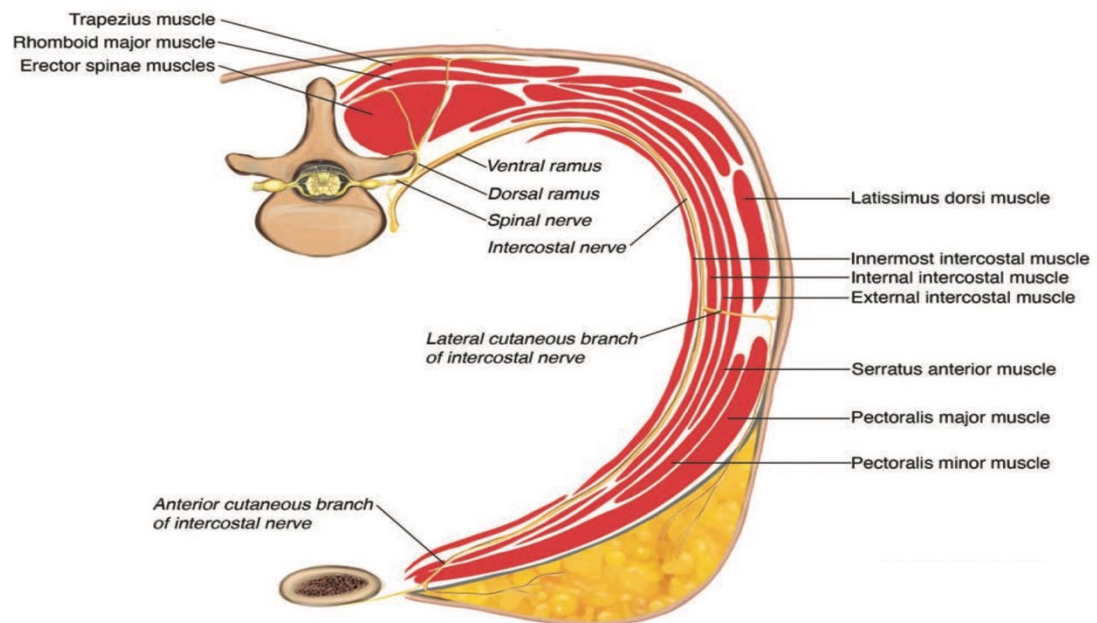
La pared torácica está inervada por los nervios intercostales que se originan en las ramas ventrales de los nervios espinales torácicos (T3–T10). Los nervios intercostales viajan por debajo del borde inferior de las costillas, entre los músculos intercostales interno y más interno. A nivel de la línea axilar media, las ramas cutáneas laterales surgen de los nervios intercostales y atraviesan los músculos intercostales y el serrato anterior. A partir de ahí se dividen en ramas anterior y posterior para inervar la región lateral de la pared torácica (Fig. 13).

El músculo serrato anterior se origina en la superficie anterior de la primera a la octava costilla para insertarse en el borde medial de la escápula. Está inervado por el nervio torácico largo (C5–C7) que es una rama del plexo braquial. Se forman planos miofasciales tanto superficial como profundamente a este músculo que es perforado por las ramas cutáneas laterales de los nervios intercostales antes de dividirse aún más.

El músculo dorsal ancho está ubicado superficial y posteriormente al músculo serrato anterior, está inervado por el nervio toraco dorsal, una rama terminal del fascículo posterior del plexo braquial que viaja junto con la arteria toraco dorsal (rama de la arteria subescapular) a lo largo de la pared posterior de la axila (Fig. 13).

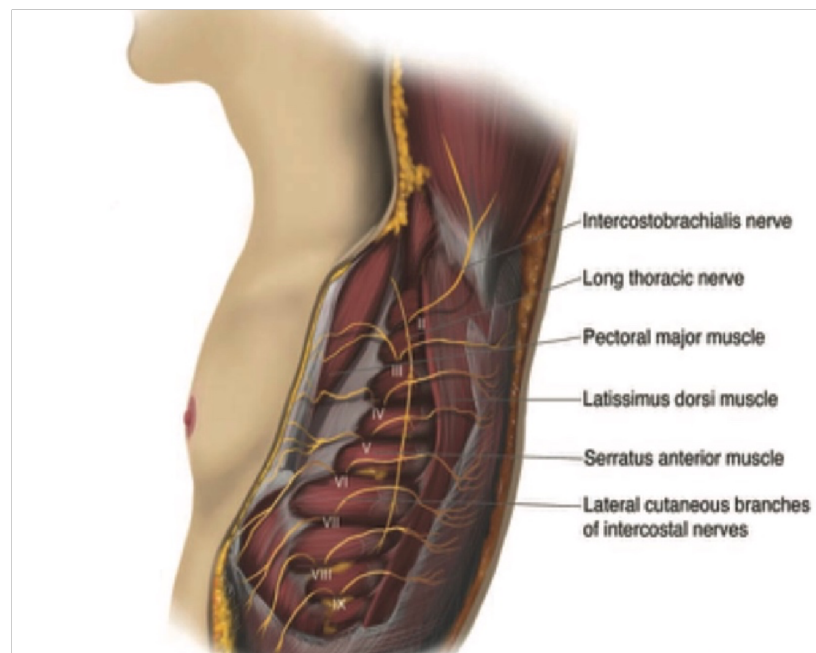
La rama cutánea lateral del segundo nervio intercostal se llama nervio intercostobraquial. El músculo serrato anterior, tras ser perforado, el nervio cruza la axila hacia el lado medial del brazo para proporcionar inervación cutánea a la región axilar y a la mitad superior de la cara medial y posterior del brazo (Fig. 14) (López, Balocco, et al., 2021).

Figura 13. Anatomía nervio intercostal.



Nota. Tomado de (López, Balocco, et al., 2021).

Figura 14. Anatomía del musculo serrato anterior.



Nota. Tomado de (López, Balocco, et al., 2021).

4.4.2 Técnica

El bloqueo del plano del serrato anterior se realiza con el paciente en decúbito supino con el brazo abducido a 90° o en decúbito lateral con el brazo extendido hacia adelante para exponer la región axilar. Esta técnica puede efectuarse entre la tercera y sexta costillas, y entre las líneas axilares anterior y posterior. El transductor ecográfico se coloca típicamente en la línea axilar media, en orientación oblicua perpendicular a la cuarta y quinta costillas, aunque también puede iniciarse en orientación sagital desde la región infraclavicular y desplazarse caudo-lateralmente hasta localizar la quinta costilla.

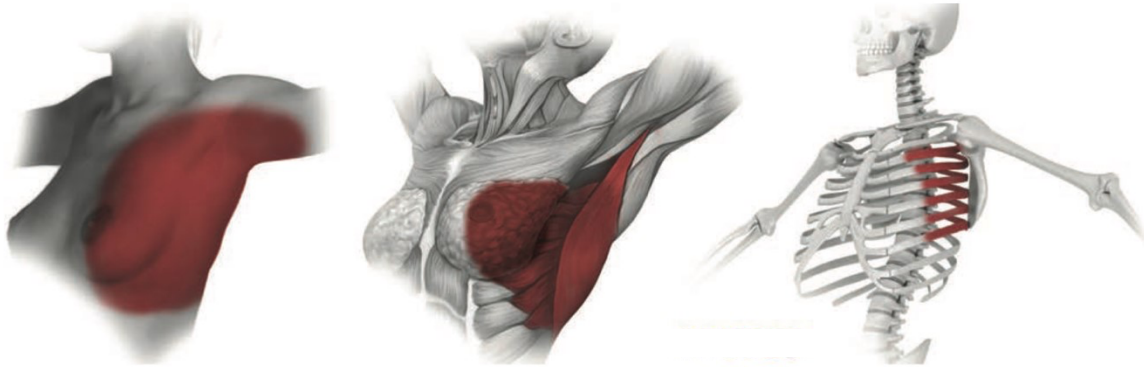
En la imagen ecográfica, las costillas se visualizan como estructuras hiperecogénicas con sombra acústica posterior, mientras que la línea pleural aparece como una línea hiperecogénica más profunda. Los músculos serrato anterior y dorsal ancho, de apariencia hipoecoica, se visualizan superficialmente respecto a las costillas, con el dorsal ancho situado posteriormente al serrato anterior. La arteria toraco dorsal se observa frecuentemente entre ambos músculos (Fig. 15). Al deslizar el transductor hacia la línea axilar posterior, el músculo dorsal ancho aparece como una capa más gruesa superficial al serrato anterior.

Si la diseminación del AL ocurre dentro del músculo serrato, se debe retirar ligeramente la aguja y redirigirla hacia un plano más superficial o profundo. Es fundamental mantener la visualización continua de la aguja durante todo el procedimiento y reducir la presión ejercida con el transductor al momento de la inyección para facilitar la adecuada distribución del anestésico (López, Balocco, et al., 2021).

4.4.3 Consideraciones

Una inyección de anestésico local superficial o profunda al músculo serrato anterior puede alcanzar los nervios intercostobraquial, torácico largo y toraco dorsal, así como las ramas cutáneas laterales de los nervios intercostales desde T3 hasta T9 en una extensión variable. Esto resulta en una analgesia del hemitórax ipsilateral (Fig. 15).

Figura 15. Distribución de la analgesia en el bloqueo del plano del serrato.



Nota. Tomado de (López, Balocco, et al., 2021).

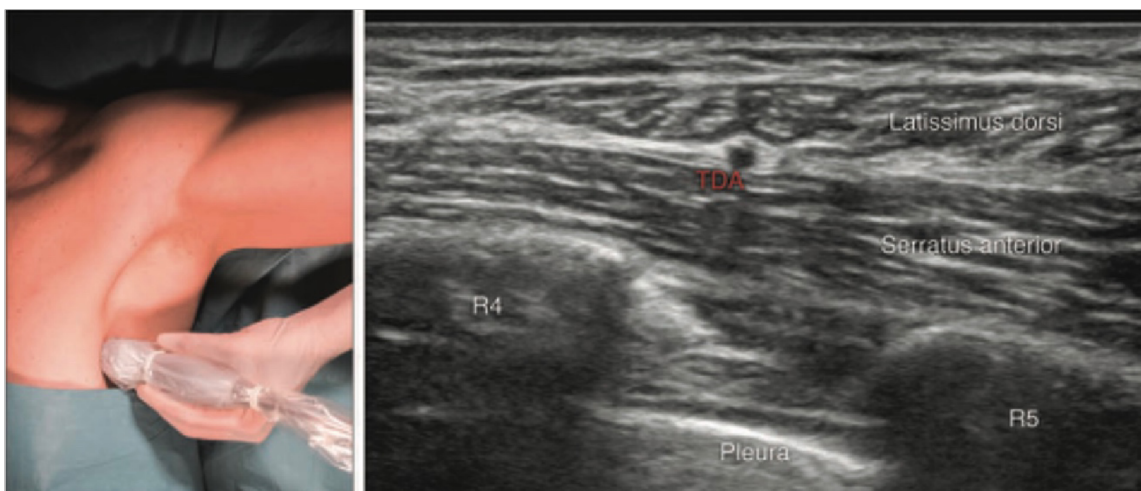
Aunque la evidencia aún es limitada, un estudio retrospectivo de un solo centro, realizado por Ka et al. en 2024, demostró que esta técnica ofrece resultados superiores en comparación con la analgesia intravenosa controlada por el paciente y con la infiltración subcutánea de anestésico local. En dicho estudio, se observaron niveles de dolor significativamente más bajos y un menor consumo acumulado de equivalentes de morfina en miligramos durante las primeras 72 horas postoperatorias (Ka et al., 2024).

Asimismo, León et al. evaluaron la eficacia del bloqueo del plano anterior del serrato como parte de un protocolo de analgesia multimodal en 15 pacientes pediátricos sometidos a reparación mínimamente invasiva del *pectus excavatum* (procedimiento de Nuss). El SAPB bilateral se realizó bajo guía ecográfica con levobupivacaína al final del procedimiento quirúrgico. Los resultados mostraron niveles bajos de dolor en las primeras 24 horas con una media de NRS ≤ 2 en reposo y ≤ 4 en movimiento, y un bajo consumo de opioides, sin necesidad de rescate en la mayoría de los pacientes. No se reportaron complicaciones. Los autores concluyen que el SAPB es una técnica segura y efectiva para el manejo del dolor agudo tras la cirugía de Nuss y que su uso podría facilitar la movilización precoz y mejorar la recuperación postoperatoria (Rim et al., 2024).

4.4.4 Complicaciones

El principal riesgo del bloqueo del plano del serrato anterior es la toxicidad sistémica por anestésicos locales (LAST, por sus siglas en inglés) debido a la absorción del medicamento a través de una superficie extensa. Siempre se debe tener en cuenta la dosis máxima de anestésicos locales, considerar el uso de marcadores farmacológicos (por ejemplo, epinefrina) para detectar una inyección intravascular y tener especial precaución con la dosis, especialmente en poblaciones de alto riesgo (López, Balocco, et al., 2021).

Figura 16. Bloqueo plano serrato anterior.



Nota. Tomado de (López, Balocco, et al., 2021). TDA arteria toraco dorsal.

4.5 Bloqueo interpectoral (Pecs II)

4.5.1 Anatomía

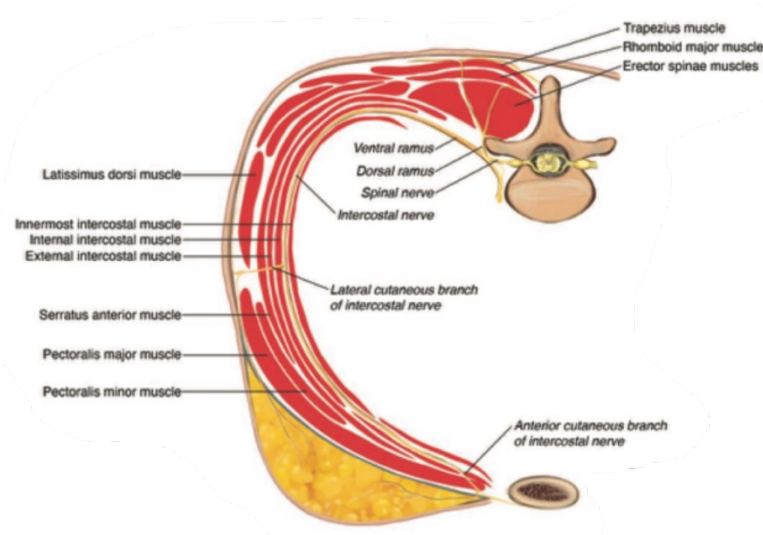
Los nervios pectorales lateral y medial son ramas del plexo braquial que se originan de los cordones lateral y medial, respectivamente. Estas ramas están interconectadas por el *ansa pectoralis*, una fina red neural. Inervan los músculos pectorales mayor y menor, la articulación acromioclavicular y contribuyen a la inervación de las costillas y la clavícula a través de los orígenes e inserciones de los músculos pectorales.

El nervio pectoral lateral perfora la fascia clavipectoral siguiendo el trayecto de la rama pectoral de la arteria toraco acromial y la vena cefálica, profundo al músculo pectoral mayor, al cual inerva. Por su parte, el nervio pectoral medial desciende y perfora el músculo pectoral menor, enviando ramas para inervar tanto a este músculo como el músculo pectoral mayor.

Los nervios intercostales de los segmentos T3 a T7, responsables de la inervación de la porción superior de la pared torácica, viajan entre los músculos intercostales interno y más internos. Sus ramas laterales se originan a nivel de la línea axilar anterior o media, perforando los músculos intercostales interno y externo, y el serrato anterior para alcanzar el tejido subcutáneo, en donde se dividen en ramas anterior y posterior (Fig. 14). Estas ramas inervan el tejido subcutáneo y la fascia torácica. El nervio intercostal continúa anteriormente para hacerse subcutáneo cerca de la línea media, en donde proporciona inervación al área paraesternal.

La rama cutánea lateral del segundo nervio intercostal, denominada nervio intercostobraquial, proporciona inervación sensitiva a la piel de la axila y a la región medial proximal del brazo. El nervio torácico largo, rama del tronco superior del plexo braquial, desciende por la superficie externa del músculo serrato anterior entre las líneas axilares anterior y posterior, emitiendo ramas para cada digitación del músculo serrato (Fig. 17).

Figura 17. Nervio intercostal.



Nota. Tomado de (López & Bolocco, 2021).

4.5.2. Técnica

La visualización ecográfica transversal de la pared torácica lateral, a nivel de la intersección entre la tercera costilla y la línea axilar anterior, permite identificar dos compartimentos interfaciales de relevancia para los bloqueos PECS II : uno entre los músculos pectorales mayor y menor, y otro entre el pectoral menor y el serrato anterior, este último con comunicación directa hacia la axila.

En la imagen ecográfica, el músculo serrato anterior se observa cubriendo las costillas y los músculos intercostales externos con los tres planos musculares claramente delimitados por planos fasciales hiperecogénicos. Las costillas tercera y cuarta se visualizan como estructuras redondeadas hipoeoicas que proyectan una sombra acústica posterior, mientras que los músculos intercostales y la pleura hiperecogénica completan la anatomía identificable.

La inyección de anestésico local entre el plano superficial y profundo a los músculos pectorales mayor y menor permite bloquear los nervios pectorales lateral y medial, así como las ramas cutáneas laterales de los nervios intercostales, también puede alcanzar los nervios intercostobraquial y torácico largo. No obstante, la extensión analgésica y el patrón de distribución pueden variar entre individuos.

Para la realización de este bloqueo, se recomienda un transductor lineal de alta frecuencia y una aguja de 80 a 100 mm calibre 22–25. En cuanto al anestésico local, se prefiere el uso de bupivacaina, levobupivacaína o ropivacaína, diluidas a un volumen adecuado, especialmente en el contexto de cirugía mamaria o incisiones en la pared torácica (Buck, et al., 2021).

4.5.3 Consideraciones

Esta técnica permite bloquear los nervios pectorales (medial y lateral), así como las ramas cutáneas laterales de los nervios intercostales (T2–T6), el nervio intercostobraquial y parte del nervio torácico largo. El volumen recomendado es de 20 mL de anestésico local de acción prolongada, dividido en dos inyecciones, 10 mL en el plano profundo al músculo serrato anterior y 10 mL entre el serrato anterior y el pectoral menor. Este abordaje permite

una cobertura más amplia del dolor postoperatorio en procedimientos torácicos o mamarios sin necesidad de técnicas neuro axiales (D. Park & Chang, 2022).

En un estudio retrospectivo publicado en *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia* (2022), Sertcakacilar y Kose evaluaron la eficacia del bloqueo PECS II bilateral en adolescentes sometidos a reparación mínimamente invasiva del *pectus excavatum* (procedimiento de Nuss). El análisis incluyó 125 pacientes ASA I–II, y realizaron una comparación entre pacientes que recibieron un bloqueo con un grupo control, todos con analgesia multimodal y PCA con morfina. El grupo PECS II presentó una reducción significativa del consumo de opioides en las primeras 24 horas postoperatorias (0.325 vs. 0.425 mg/kg; $p < 0.001$), así como menores puntuaciones de dolor NRS en reposo y con movimiento durante las primeras 12 horas. También se observó una menor necesidad de analgesia de rescate sin aumento en los efectos adversos. El estudio concluye que el PECS II es una alternativa segura y efectiva que mejora el control del dolor agudo postoperatorio y disminuye el uso de opioides en el contexto de analgesia multimodal, aunque su cobertura analgésica sobre la región esternal puede ser limitada (Sertcakacilar & Kose, 2022).

Aunque la evidencia aún es limitada, un estudio retrospectivo de un solo centro, realizado por Ka et al. en 2024, demostró que esta técnica ofrece resultados superiores en comparación con la analgesia intravenosa controlada por el paciente y con la infiltración subcutánea de anestésico local. En dicho estudio se observaron niveles de dolor significativamente más bajos y un menor consumo acumulado de equivalentes de morfina en miligramos durante las primeras 72 horas postoperatorias (Ka et al., 2024).

4.5.4. Complicaciones

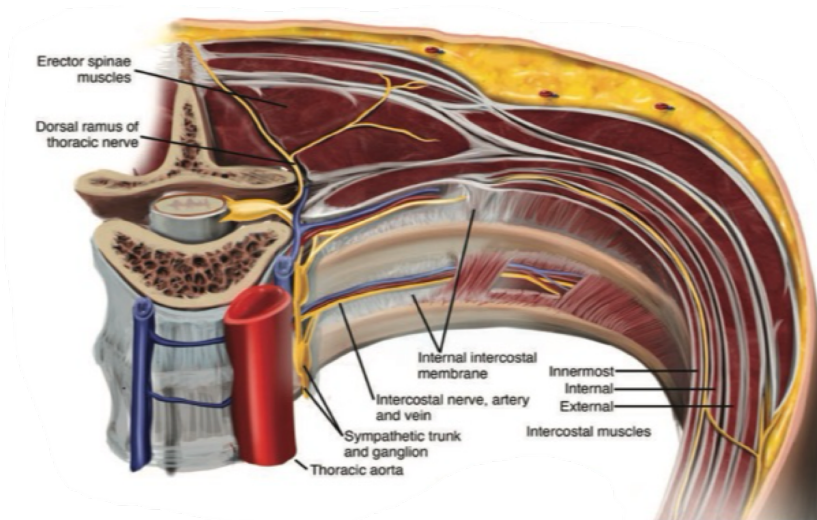
Las limitaciones del bloqueo PECS II incluyen la imposibilidad de visualizar directamente las pequeñas ramas nerviosas que discurren por estos planos fasciales, así como una variabilidad interindividual en la extensión y duración del bloqueo sensitivo. La infiltración de grandes volúmenes de anestésicos locales en planos intermusculares altamente vascularizados conlleva un riesgo de toxicidad sistémica por anestésicos locales. Las complicaciones más frecuentemente descritas son los hematomas locales; sin embargo, también se ha reportado neumotórax, particularmente durante el bloqueo PECS II, debido a la proximidad de los músculos intercostales y la pleura (López & Bolocco, 2021).

4.6 Bloqueo del nervio intercostal

4.6.1 Anatomía

Los nervios espinales T2 a T12 inervan la pared torácica y la porción superior del abdomen. Tras emerger de los forámenes intervertebrales, las raíces nerviosas torácicas se dividen en ramos dorsales y ventrales. Los ramos dorsales inervan la piel y los músculos de la región paravertebral. Por su parte, los ramos ventrales continúan lateralmente y forman los nervios intercostales (Fig. 18).

Figura 18. Anatomía del nervio intercostal



Nota. Tomado de (Buck, et al., 2021)

Cada nervio intercostal perfora la membrana intercostal posterior aproximadamente a 3 cm del foramen intervertebral y se introduce en el surco subcostal de la costilla correspondiente. En un inicio, estos nervios se desplazan entre la pleura parietal y la membrana intercostal, posteriormente a nivel lateral al ángulo costal, penetran el espacio situado entre los músculos intercostales interno y más interno, trayecto que comparten con las arterias y venas intercostales (Fig. 18).

A nivel de la línea medio axilar, el nervio intercostal emite una rama cutánea lateral, la cual atraviesa los músculos intercostales interno y externo. Esta rama proporciona inervación motora y sensitiva a los músculos y a la piel de la pared lateral del tórax y del abdomen superior.

Posteriormente, la rama terminal del nervio intercostal se convierte en la rama cutánea anterior, encargada de la inervación sensitiva de la piel y los músculos de la región anterior del tórax y del abdomen, incluyendo el área sobre el esternón y el músculo recto abdominal (Buck, et al., 2021).

La distribución de la anestesia es unilateral y metamérica a lo largo del segmento inervado por el nervio intercostal correspondiente. Para un bloqueo exitoso es necesario un número suficiente de inyecciones en los espacios intercostales correctos.

Los nervios intercostales recorren los espacios intercostales acompañados por la arteria y la vena intercostales. Estos nervios proporcionan inervación motora y sensitiva a la pared torácica y abdominal, así como inervación sensitiva al peritoneo y a la pleura parietal. A nivel de la línea axilar posterior, los nervios intercostales se dividen en ramas principales y colaterales. En relación con la musculatura, se identifican tres capas de músculos intercostales, a saber: el músculo intercostal externo, el músculo intercostal interno y el músculo intercostal más interno. La pleura parietal se localiza justo por debajo de esta tercera capa muscular (Park & Chang, 2022).

4.6.2 Relevancia clínica

La técnica consiste en la infiltración de anestésico local, ya sea de acción corta o prolongada, en el plano anatómico situado entre la pleura parietal y los músculos intercostales. Habitualmente, se realiza de forma bilateral en los niveles intercostales T3 a T7 y puede llevarse a cabo mediante un abordaje transtorácico o percutáneo externo (Chiu et al., 2024).

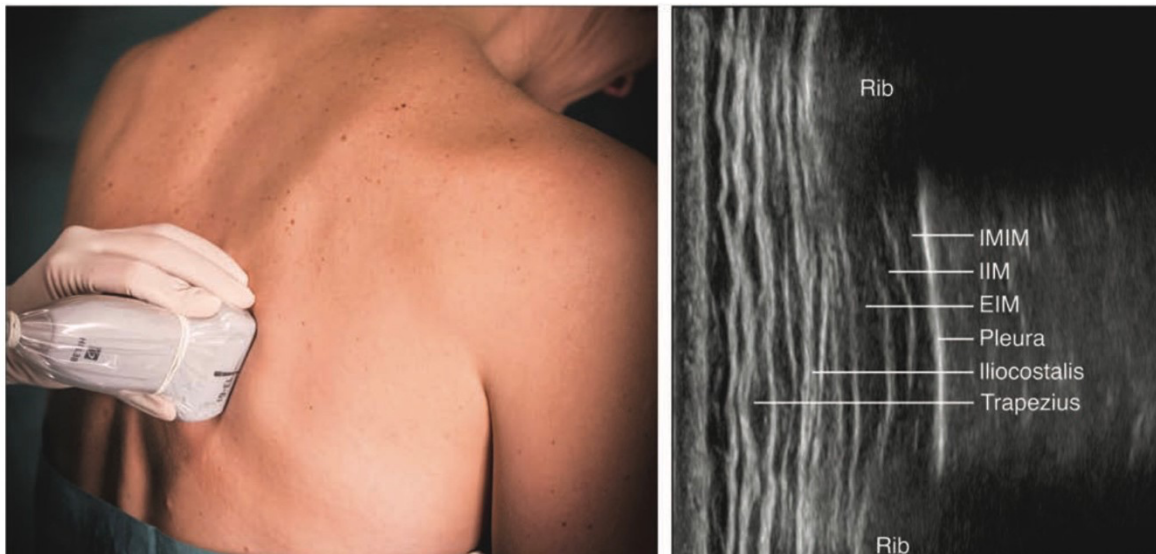
4.6.3 Técnica

Se debe escanear la línea axilar posterior para localizar el nervio intercostal antes de dividirlo en las ramas principal y colateral. Para identificar el nivel del espacio intercostal, se comienza el escaneo en el ángulo inferior de la escápula que corresponde aproximadamente al séptimo espacio intercostal cuando la mano cuelga lateralmente. Después de encontrar el espacio intercostal se coloca la sonda verticalmente y se avanza la aguja hasta el margen inferior de la costilla (Fig. 19).

Para el bloqueo del nervio intercostal, la inyección de 2 a 4 mL de anestésico local suele ser suficiente. No obstante, para mejorar la eficacia del bloqueo del CIE guiado por ecografía, se recomienda la hidrodisección para distinguir las capas musculares intercostales porque son difíciles de distinguir mediante ecografía.

Para lograr un bloqueo efectivo del nervio intercostal mediante una única inyección, se recomienda realizar el procedimiento guiado por ultrasonido antes de que el nervio se divida en sus ramas principal y colateral. Por ello, el bloqueo intercostal eco guiado se efectúa comúnmente a nivel de la línea axilar posterior (D. Park & Chang, 2022).

Figura 19. Bloqueo del nervio intercostal.



Nota. Tomado de (Buck, et al., 2021). EIM, músculo intercostal externo; IIM, músculo intercostal interno; IMIM, músculo intercostal más interno.

Aunque los nervios intercostales no suelen ser visibles directamente mediante ecografía, es posible localizar el paquete neurovascular principal en el borde inferior de la costilla, gracias al uso de modo Doppler color, el cual permite identificar los vasos sanguíneos y, por ende, estimar la ubicación del nervio intercostal (D. Park & Chang, 2022).

4.6.4 Consideraciones

Diversos estudios han demostrado que el bloqueo del nervio intercostal se asocia con una menor depresión del sistema nervioso central, una reducción significativa del consumo de opioides y una mejor mecánica pulmonar en el postoperatorio inmediato (Chiu et al., 2024). Entre sus ventajas adicionales destacan: su eficacia analgésica, el efecto ahorrador de opioides, la preservación de la función respiratoria, la ausencia de retención urinaria y la reducción del riesgo de efectos adversos neurológicos en comparación con técnicas neuroaxiales más invasivas (Ma et al., 2022).

4.6.5 Complicaciones

Las complicaciones reportadas de los bloqueos nerviosos intercostales incluyen neumotórax (1%), lesión en el peritoneo y las vísceras abdominales, toxicidad sistémica anestésica local (LAST), hematoma debido a lesión en la arteria intercostal y anestesia espinal inadvertida. Es ampliamente conocido por ser un procedimiento de bloqueo nervioso con una de las tasas de captación sistémica de anestesia local más rápidas a medida que el nervio está en contacto cercano con la arteria y la vena correspondientes.

Wang et al. (2023) llevaron a cabo un ensayo clínico aleatorizado y prospectivo con el objetivo de evaluar la eficacia analgésica de los bloqueos intercostales bilaterales guiados por ultrasonido, combinados con analgesia intravenosa controlada por el paciente (PCA), en niños sometidos a reparación de *pectus excavatum* mediante el procedimiento de Nuss. El estudio incluyó a 60 pacientes pediátricos, distribuidos en dos grupos: uno recibió únicamente PCA con sufentanilo, mientras que el otro se trató adicionalmente con bloqueos intercostales en los niveles T4 a T8, utilizando ropivacaína al 0,25%. Los resultados mostraron que el grupo que recibió los bloqueos intercostales presentó menores puntuaciones de dolor postoperatorio tanto en reposo como durante el movimiento, especialmente durante las primeras 24 horas. Asimismo, se observó una reducción significativa en el consumo acumulado de opioides y una menor incidencia de efectos adversos como náuseas, vómitos y sedación. No se reportaron complicaciones asociadas a la técnica de bloqueo. Los autores concluyen que los bloqueos intercostales ecoguiados representan una estrategia segura y eficaz para optimizar la analgesia postoperatoria en pacientes pediátricos sometidos a MIRPE con beneficios clínicos relevantes al reducir el uso de opioides y sus efectos secundarios.

4.7 Crioablación intercostal en la reparación de *pectus excavatum*

La crioanalgesia, definida ampliamente como el uso de temperatura fría para tratar el dolor, es una modalidad analgésica que se remonta al antiguo Egipto. Durante gran parte de su historia, la crioanalgesia dependía del hielo, generalmente en forma de nieve. En la actualidad, los dispositivos modernos emplean un sistema cerrado en el que un gas presurizado —habitualmente óxido nitroso— circula a través de un conducto dentro de la sonda o cánula de crioneurólisis. El gas se expande al ingresar a una cámara de baja presión en la punta del dispositivo, lo que provoca un descenso abrupto de la temperatura.

La crioablación de los nervios intercostales, también denominada neuroablación por congelación, representa una alternativa emergente para el manejo del dolor postoperatorio en pacientes sometidos a reparación mínimamente invasiva de *pectus excavatum* (MIRPE). Esta técnica fue introducida en 1974 para el tratamiento del dolor postoracotomía, aunque su aplicación en el contexto del procedimiento de Nuss no se describió hasta 2016 (Daemen et al., 2020).

4.7.1 Mecanismo de acción

Los avances en criotecnología han dado lugar a criosondas portátiles que transforman la visualización de la arquitectura nerviosa mediante ultrasonido. Estos dispositivos generan bolas de hielo de diámetro variable en los nervios periféricos superficiales.

Este fenómeno, descrito por primera vez por James Prescott Joule y William Thomson en 1852, se conoce como el efecto Joule-Thomson. Es importante destacar que, ni el gas ni ninguna otra sustancia se inyectan en el paciente. A medida que la temperatura de la sonda desciende, se forma una “bola de hielo” que envuelve el tejido alrededor de su punta, lo que resulta en una lesión axonal reversible y genera analgesia en la distribución del nervio tratado. Esta lesión axonal reversible y la analgesia asociada se denomina crioneurólisis (Finneran Iv & Ilfeld, 2021).

La criosonda es fundamental para la crioneurólisis (Fig. 20), dado que utiliza estas bajas temperaturas durante un periodo de tres a cinco minutos para inducir dicha degeneración axonal. Durante la congelación, se forma hielo extracelular, lo que altera el equilibrio osmótico en los nervios sensibles al dolor y en las fibras simpáticas que inervan estructuras

autónomas. Este fenómeno desencadena una respuesta nerviosa desincronizada, con aceleración seguida de relajación como expresión de una interrupción funcional transitoria del nervio (R. Park et al., 2021).

Cuando se congela el tejido nervioso, pueden producirse distintos grados de lesión en función de la temperatura alcanzada.

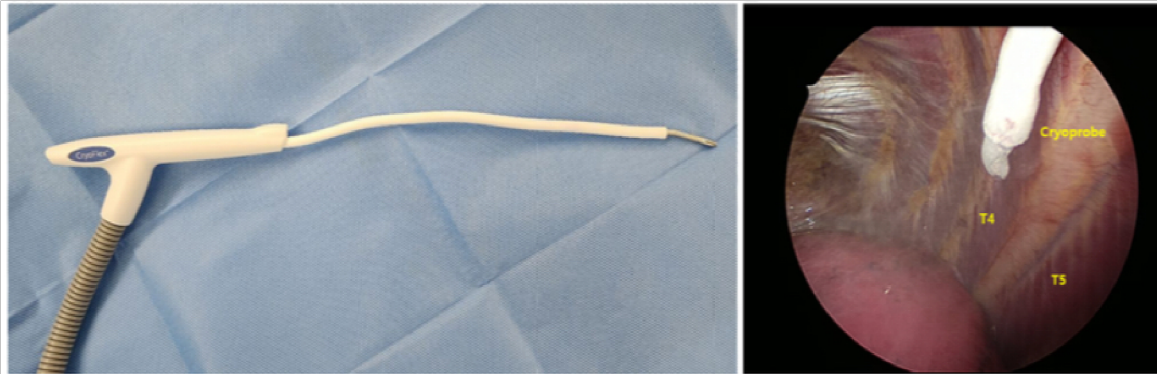
- (A) Temperaturas superiores a -20°C : cuando el nervio es enfriado sin descender por debajo de -20°C , ocurre una neuropraxia, una forma de lesión reversible que no provoca degeneración axonal. Se manifiesta clínicamente como un bloqueo nervioso transitorio que puede durar desde minutos hasta semanas.
- (B) Temperaturas entre -20°C y -100°C : se produce una lesión axonal con degeneración walleriana distal al sitio de la lesión. Esta degeneración, descrita por Augustus Volney Waller, ocurre porque los núcleos celulares y la información genética del axón se localizan en el extremo proximal de la neurona. A estas temperaturas, el tejido conectivo nervioso (endoneuro, perineuro y epineuro) permanece intacto, lo que permite que el axón se regenere a una velocidad de aproximadamente 1 a 2mm por día, siguiendo el trayecto del armazón endoneural.
- (C) Temperaturas inferiores a -100°C : la envoltura de tejido conectivo sufre una lesión irreversible (neurotmesis). En este escenario, los axones no se regeneran, resultando en una interrupción permanente de la función nerviosa.

La duración del efecto de la crioneurólisis (determinada por la tasa de regeneración axonal, estimada en 1 a 2 mm por día), si bien, resulta sumamente atractiva desde la perspectiva del control del dolor, también representa una limitación importante para su aplicación clínica. La presencia de debilidad muscular prolongada durante semanas o incluso meses puede resultar inaceptable, debido a que interfiere negativamente con la participación en programas de rehabilitación física y con la ejecución de las actividades de la vida diaria.

De hecho, uno de los objetivos fundamentales del uso de técnicas de anestesia regional es facilitar la movilización temprana, favorecer la rehabilitación y acelerar el retorno a las actividades cotidianas. Por esta razón, los grandes nervios habitualmente bloqueados en anestesia regional —como el nervio femoral, ciático o el plexo braquial— no suelen ser

candidatos adecuados para crioneurólisis, dado el riesgo de comprometer la función motora (Finneran Iv & Ilfeld, 2021).

Figura 20. Sonda de crioablación para crioterapia.



Nota. Tomado de (Rim et al., 2024). En la imagen se observa la aplicación directa de la criosonda sobre los nervios intercostales en el lado derecho (niveles T4–T7), guiada por toracoscopia.

4.7.2 Crioneurólisis percutánea para el dolor agudo

El desarrollo de sondas percutáneas ha permitido realizar crioneurólisis sin necesidad de incisiones quirúrgicas abiertas, lo que ha introducido esta técnica en el campo de la anestesiología regional. A diferencia de las técnicas abiertas, la crioneurólisis percutánea requiere estrategias adicionales para la localización precisa del nervio, dado que este no se encuentra expuesto ni es visualizado directamente por el operador (Finneran Iv & Ilfeld, 2021).

Se han descrito diversos métodos para guiar la inserción de la sonda, incluyendo el uso de referencias anatómicas, estimulación nerviosa y técnicas de imagen como radiografía biplanar, fluoroscopia, tomografía computarizada, resonancia magnética y, especialmente, ecografía. Esta última resulta particularmente útil porque permite ubicar la sonda de crioneurólisis directamente adyacente al nervio y visualizar en tiempo real la formación de la “bola de hielo”.

La crioneurólisis percutánea guiada por ultrasonido resulta particularmente atractiva para los anestesiólogos, debido a que la técnica es relativamente similar a los bloqueos nerviosos periféricos convencionales con anestesia local. La colocación de la aguja o sonda

y la identificación del nervio siguen principios ya dominados por muchos especialistas en anestesia regional.

Además, la disponibilidad generalizada de equipos de ultrasonido, el acceso a consolas móviles y dispositivos portátiles de crioneurólisis, así como la creciente experiencia en ecografía entre anesthesiólogos, conforman una combinación de factores que podría facilitar la adopción generalizada de esta modalidad analgésica.

Reportes recientes de casos clínicos y series han documentado múltiples condiciones con dolor agudo que podrían beneficiarse del uso de crioneurólisis percutánea ecoguiada. Sin embargo, aún se requieren ensayos clínicos aleatorizados que validen su eficacia y seguridad en escenarios controlados.

Técnica de la crioneurólisis percutánea: en las últimas décadas se han propuesto numerosos protocolos para la aplicación de crioneurólisis percutánea. No obstante, sorprendentemente, existe escasa investigación comparativa sobre variables técnicas claves como la duración de la congelación, el número de ciclos de congelación/descongelación, la infiltración previa de anestésico local, la cantidad óptima de sitios de aplicación y la localización más adecuada para tratar un nervio específico.

Dado que se trata de un procedimiento mínimamente invasivo, que requiere poca o ninguna sedación y escasa monitorización posoperatoria, la crioneurólisis percutánea puede realizarse de forma ambulatoria (Fig. 21). El sitio de entrada de la sonda debe prepararse de manera estéril y, aunque puede optarse por el uso de campos quirúrgicos para mayor asepsia, esto generalmente no es indispensable.

La trayectoria planificada de la sonda, así como el sitio de inserción, deben anesthesiarse localmente. La infiltración de 2 a 3 mL de anestésico local alrededor del nervio antes del procedimiento ofrece múltiples ventajas:

1. Permite realizar un bloqueo diagnóstico previo, confirmando que la distribución sensitiva corresponde al nervio objetivo.
2. Disminuye o elimina el dolor en el área inervada por dicho nervio durante el procedimiento.

3. Garantiza que el paciente no experimente una sensación de entumecimiento, inesperada o desagradable, que persista durante semanas o meses, lo cual es particularmente importante en poblaciones vulnerables.

La duración y la intensidad del bloqueo generado por la crioneurólisis se relacionan directamente con dos factores principales: la distancia entre la lesión inducida por congelación y las terminaciones axonales que inervan el área diana y grado de disrupción axonal alcanzado durante el procedimiento (Finneran Iv & Ilfeld, 2021).

Figura 21. Crioneurólisis percutánea



Nota. Tomado de (Finneran Iv & Ilfeld, 2021).

Equipo para crioneurólisis percutánea: los dispositivos de crioneurólisis se agrupan en dos categorías principales: dispositivos basados en consola y dispositivos portátiles. Actualmente, la mayoría de los equipos disponibles pertenecen a la primera categoría.

Los sistemas basados en consola constan de una unidad que integra los reguladores de gas y un cilindro de óxido nitroso o dióxido de carbono, habitualmente montado sobre ruedas para facilitar su transporte, una sonda conectada a través de un tubo flexible y un pedal o interruptor para activar la congelación. El operador sostiene la sonda manualmente mientras activa la máquina con el pie (Fig. 22). Este diseño permite mayor movilidad y control sobre la sonda, dado que el depósito de gas y el interruptor de activación no interfieren con la manipulación directa.

Figura 22. Máquina de crioneurólisis con consola y sonda en forma de trocar



Nota. Tomado de (Finneran Iv & Ilfeld, 2021).

Otra ventaja es que las sondas son reutilizables y pueden esterilizarse entre pacientes, lo que reduce el costo por uso. Además, permiten la aplicación desde cualquier ángulo. No obstante, estos equipos requieren una inversión inicial elevada (generalmente superior a 20.000 dólares) y ocupan más espacio, lo cual puede ser un factor limitante para centros ambulatorios o de menor escala (Finneran Iv & Ilfeld, 2021).

En contraste, existe un único dispositivo portátil aprobado actualmente en Estados Unidos. Este equipo, completamente autónomo, se sostiene directamente en la mano del operador y debe mantenerse en posición vertical o con una inclinación no mayor a 45° respecto al suelo para funcionar adecuadamente (Fig. 23).

Figura 23. Máquina portátil de crioneurólisis



Nota. Tomado de (Finneran Iv & Ilfeld, 2021).

Utiliza cartuchos de óxido nitroso desechables y sondas no reutilizables, disponibles en diferentes formas y tamaños. Una de las sondas tiene forma de tridente e incorpora un elemento calefactor diseñado para proteger la piel durante el tratamiento de nervios superficiales. Entre sus ventajas destacan su fácil portabilidad, menor inversión inicial (aproximadamente 5000 dólares) y facilidad de uso. Sin embargo, el costo por tratamiento es mayor debido al uso de consumibles descartables y genera una mayor cantidad de residuos. Asimismo, la destreza operatoria es menor en comparación con los sistemas de consola, debido a las limitaciones mecánicas del flujo de gas y al peso del equipo en la mano del usuario (Finneran Iv & Ilfeld, 2021).

4.7.3 Consideraciones

La acción prolongada de la crioanalgesia puede reducir los reingresos y las visitas a la sala de emergencias, además de disminuir el riesgo de morbilidad sistémica. Es importante

destacar que su efecto ahorrador de opioides puede perdurar después del alta, minimizando su necesidad de prescripciones, lo que parece estar contribuyendo a la crisis de opioides.

Otras ventajas de la crioanalgesia incluyen su bajo costo, la necesidad limitada de seguimiento, la ausencia de riesgo de toxicidad por anestésicos locales y la ausencia de la necesidad de llevar una bomba de infusión como ocurre con los bloqueos nerviosos periféricos continuos (Finneran Iv & Ilfeld, 2021). No obstante, las desventajas incluyen el mayor tiempo requerido para la administración, la duración impredecible de la acción, la asociación poco clara entre la técnica de aplicación y la duración del bloqueo, y un número limitado de procedimientos quirúrgicos durante los cuales se puede utilizar (R. Park et al., 2021).

Diversas investigaciones respaldan su eficacia. Graves et al. (2019) realizaron uno de los primeros ensayos clínicos aleatorizados que demostraron una reducción significativa en la estancia hospitalaria (de cinco a tres días) y un menor consumo acumulado de opioides (diferencia media de 416 mg equivalentes de morfina) en comparación con pacientes tratados con analgesia epidural torácica sin diferencias significativas en eventos adversos.

En el mismo sentido, Song et al. (2022) desarrollaron un estudio retrospectivo en 64 pacientes, mostrando que la crioablación, aplicada intra operatoriamente en tres niveles intercostales por lado, se asoció con menor dolor postoperatorio, menor consumo de opioides y una reducción de la estancia hospitalaria (mediana: tres vs. cinco días) sin reportar complicaciones mayores.

Jaroszewski et al. (2023) describieron la evolución del manejo del dolor en 729 pacientes adultos tratados con MIRPE durante 12 años. Los pacientes se dividieron en tres grupos: analgesia epidural torácica, catéter subcutáneo de infusión continua (SC-Cath) y crioablación intercostal (Cryo). En el análisis ajustado por edad y sexo, la crioablación se asoció con una menor estancia hospitalaria (media: 2.2 días), menor consumo de opioides y menos efectos adversos gastrointestinales.

Aunque no se hallaron diferencias significativas en la evolución del dolor en población pediátrica, la crioablación se asoció con reducción del uso de opioides y acortamiento de la

hospitalización. Por otro lado, esta técnica implica un aumento en el tiempo quirúrgico y en el costo del equipo especializado necesario.

La cronología del manejo analgésico en pacientes sometidos a reparación de *pectus excavatum* ha evolucionado significativamente entre 2010 y 2023. Inicialmente, se empleó analgesia epidural torácica combinada con analgesia controlada por el paciente (PCA). A partir de 2011 se introdujo el uso de catéter subcutáneo de infusión continua elastomérica (SC-Cath), utilizado solo o junto a la analgesia epidural. En 2015 se estandarizó la combinación de SC-Cath con PCA como estrategia principal. Posteriormente, desde noviembre de 2018, se incorporó la crioblación intercostal intraoperatoria como complemento al SC-Cath y PCA. Finalmente, entre 2020 y 2023, la crioblación se consolidó como técnica analgésica principal, desplazando progresivamente las modalidades previas. Esta evolución refleja una tendencia hacia técnicas menos invasivas con perfil de seguridad favorable y analgesia prolongada (Jaroszewski et al., 2024).

4.7.4 Complicaciones de la crioanalgesia

Los riesgos de la crioanalgesia son similares a los de otros procedimientos percutáneos con agujas, incluidos sangrado, hematomas e infección. Winston et al. (2023) informaron que el 0,9% (1/113 pacientes) y el 1,78% (2/113 pacientes) desarrollaron infecciones cutáneas locales y hematomas o hinchazón, respectivamente, y todos se resolvieron en un mes. Sin embargo, estos riesgos pueden eliminarse mediante cuidados postoperatorios adecuados y seguimientos regulares.

Los riesgos específicos relacionados con el procedimiento incluyen lesión nerviosa permanente, lesión del tejido circundante y decoloración de la piel si la cánula se retrae antes de disolver la bola de hielo y entra en contacto con otras áreas cerca del sitio objetivo. Aunque es poco frecuente, la mionecrosis es una posible complicación. Para mitigar estos riesgos, se deben utilizar cánulas diseñadas específicamente para nervios superficiales, junto con unidades de calentamiento en la piel y debajo de ella (Shaikh et al., 2025).

La crioneurólisis logra un control eficaz del dolor mediante la lesión neuronal reversible (degeneración walleriana). Sin embargo, una vez regenerado el axón, se reconecta con el receptor sensorial y se reanuda la conducción. El recrecimiento de los axones en el perineuro

finalmente restaura la sensibilidad y el bloqueo se resuelve funcionalmente. Por lo tanto, la probabilidad de lesión nerviosa permanente, desarrollo de neuroma o cambios a largo plazo en la función nerviosa debido a la crioanalgesia es prácticamente nula. No obstante, Urban et al. (2021) informaron que el 1,2% (2/169 pacientes) reportó disestesia severa en el área de tratamiento, lo que interfirió con su ciclo de sueño y actividades diarias, impactando su calidad de vida (Shaikh et al., 2025).

Además, los estudios han informado acerca de un aumento poco común del dolor neuropático después de la crioanalgesia durante el procedimiento de toracotomía. En estos ensayos, los pacientes informaron alodinia, la cual se refiere a una mayor percepción del dolor debido a estímulos no nocivos. Sin embargo, en ambos ensayos, la analgesia implicó exposición quirúrgica y posible retracción nerviosa. Esto podría deberse a una descarga aferente durante la manipulación nerviosa, lo que provoca hiperalgesia y, posteriormente, sensibilización central. Estudios preclínicos indicaron que la manipulación nerviosa durante la crioanalgesia aumenta el riesgo de dolor crónico. Por lo tanto, el uso de técnicas de referencia y ultrasonido en lugar de la fluoroscopia tradicional o los métodos quirúrgicos abiertos puede ayudar a prevenir estas complicaciones (Shaikh et al., 2025).

Uno de los principales riesgos descritos ha sido la aparición de dolor neuropático posoperatorio. En un estudio multicéntrico, Zobel et al. (2020) reportaron dolor neuropático en 3 de 13 pacientes adultos (>21 años), mientras que ningún paciente pediátrico presentó esta complicación. Aunque infrecuente en niños, esta eventualidad debe vigilarse en el seguimiento posquirúrgico.

Otra complicación potencial es la criolesión pulmonar, relacionada con el movimiento limitado de la criosonda durante el ciclo de ablación. Para minimizar este riesgo, se recomienda el aislamiento pulmonar mediante intubación con tubo de doble lumen y desinflado controlado del pulmón.

Una limitación relevante de la crioablación es el retardo en su efecto analgésico, dado que la degeneración axonal tarda entre 12 y 24 horas en instaurarse. Durante ese intervalo, puede ser necesario complementar la analgesia con opioides sistémicos o técnicas regionales de acción inmediata (Chiu et al., 2024).

Finalmente, Tang et al. (2022) realizaron una revisión sistemática y metaanálisis de 709 pacientes, comparando crioablación con anestesia epidural torácica. Los resultados mostraron que la crioablación se asocia con menor uso de opioides, menor duración de hospitalización y menor incidencia de efectos adversos como náuseas, prurito y retención urinaria. No obstante, también se reportó una mayor frecuencia de parestesias persistentes, probablemente por daño reversible de los nervios intercostales.

En conjunto, la evidencia actual sugiere que la crioablación intercostal representa una alternativa eficaz y segura frente a técnicas analgésicas tradicionales, particularmente en centros que buscan optimizar la recuperación postoperatoria y reducir complicaciones asociadas a opioides o técnicas neuroaxiales.

Capítulo 5. Protocolo de analgesia multimodal para cirugías de corrección de *pectus excavatum*

El objetivo del protocolo es optimizar el control del dolor postoperatorio, facilitar la movilización temprana, reducir el consumo de opioides y minimizar efectos adversos.

1. Evaluación preoperatoria

- Historia clínica y evaluación de alergias, función cardiopulmonar y antecedentes de dolor crónico.
- Escala basal de dolor y ansiedad.
- Información al paciente y familia sobre expectativas de dolor y plan analgésico.
- Considerar inicio de fisioterapia respiratoria preoperatoria.

2. Premedicación / analgesia preventiva

- Paracetamol IV: 1 g (15mg/kg pediátrico) 30 min antes de inducción.
- AINE (ej. dexketoprofeno 50mg IV o ibuprofeno 10mg/kg IV) salvo contraindicación renal/gastrointestinal.
- Gabapentina 300–600mg VO (o pregabalina 75–150 mg VO) 1–2 h antes, en mayores de 12 años, si se busca analgesia neuropática preventiva, según *The pectus care guidelines*, los medicamentos neuromoduladores, como la gabapentina, pueden ser beneficiosos en el período postoperatorio, pero hasta que se publiquen más evidencias sobre su eficacia y seguridad, no se emite ninguna recomendación a favor o en contra de su uso. Su administración debe guiarse por la práctica local y la experiencia clínica. (Dunning et al., 2024).
- Dexametasona 0,1mg/kg IV (máx. 8mg) para PONV y efecto analgésico.

3-Técnica analgésica intraoperatoria

Opción A – Cirugía Nuss (MIRPE)

- Crioablación intercostal bilateral: nervios T3–T8 (–60 a –80° C, 2–3 min por punto).
- Ventaja: analgesia prolongada (4–8 sem), menor consumo de opioides, alta precoz.

Limitación: analgesia incompleta primeras 24 h.

- Bloqueo regional complementario para cubrir ventana inicial:
- Bloqueo paravertebral torácico multisegmentario (T3–T6) bilateral, 0,25% bupivacaina 15–20ml por lado.
- Alternativa: bloqueo del plano del serrato (SAPB) + PECS II para analgesia anterolateral.
- Considerar bloqueo del nervio intercostal o bloqueo del plano erector de la columna si no es posible usar analgesia epidural torácica o bloqueo paravertebral.

Opción B – Cirugía Ravitch

- Epidural torácica: catéter T5–T7, bupivacaina 0,125%
- Ajustar según escala de dolor y estado hemodinámico.
- Alternativa: PVB continuo bilateral, considerar firmemente salvo contraindicación.

4. Manejo analgésico sistémico

- Infusión de lidocaína IV: 1,5 mg/kg bolo + 1,5–2 mg/kg/h hasta cierre de piel (solo si no hay bloqueo regional).
- Ketamina sub anestésica: 0,25–0,5mg/kg/h intra y postoperatoria por 12–24 h.

Opioides IV (rescate):

- PCA con morfina (1mg bolo, 6–10 min *lockout*).
- Dosis ajustada mg /kg.

5. Postoperatorio inmediato (0–48 h)

- Paracetamol IV: 1 g c/6 h.
- AINE IV/VO: c/8–12 h si no contraindicado.
- Mantener infusión regional si presente (PVB/Epidural).
- Control de náuseas/vómitos con ondansetrón y dexametasona.
- Rescate con opioides solo si EVA > 4.

6. Rehabilitación y alta

- Movilización precoz en primeras 12–24 h.
- Ejercicios respiratorios incentivados.
- Alta con esquema VO: paracetamol + AINE + gabapentinoide por 7–14 días, según dolor.
- Opioides VO solo si dolor moderado-severo no controlado.

7. Consideraciones especiales

- En crioterapia intercostal: reforzar analgesia regional/sistémica primeras 24 h.
- Evitar AINE en pacientes con riesgo de sangrado o disfunción renal.
- Monitorizar efectos adversos: retención urinaria, hipotensión, náuseas, prurito.

Discusión

Los hallazgos y el análisis desarrollado a lo largo de esta tesis destacan la importancia de implementar estrategias de analgesia multimodal en la corrección quirúrgica del *pectus excavatum*. Tanto el procedimiento de Ravitch como el de Nuss se asocian con un dolor postoperatorio intenso que puede generar complicaciones respiratorias, limitar la movilización precoz y prolongar la estancia hospitalaria. Este dolor, si no se trata de forma eficaz, puede evolucionar hacia un síndrome de dolor crónico postoperatorio.

La revisión de la fisiopatología del dolor torácico, así como de los factores de riesgo quirúrgicos y del paciente, permiten identificar puntos clave para optimizar el abordaje analgésico en este tipo de cirugía. En este contexto, la analgesia multimodal representa un pilar esencial, debido a que permite actuar sobre diferentes mecanismos del dolor al combinar técnicas regionales con fármacos sistémicos. Esta sinergia no solo mejora la eficacia analgésica, sino también que permite reducir las dosis de opioides, disminuyendo así los efectos adversos asociados a su uso.

Desde el punto de vista técnico, la selección de bloqueos regionales debe adaptarse al tipo de abordaje quirúrgico. La analgesia epidural torácica, el bloqueo paravertebral y los bloqueos interfaciales como el del plano del serrato anterior o el del erector de la espina han demostrado eficacia, especialmente cuando se combinan con agentes sistémicos como antiinflamatorios no esteroideos, ketamina, gabapentinoides y paracetamol.

La crioablación intercostal es una técnica analgésica eficaz y segura en la reparación mínimamente invasiva de *pectus excavatum* que, mediante el enfriamiento controlado de los nervios intercostales produce una lesión axonal reversible y analgesia prolongada, reduciendo el dolor postoperatorio, el consumo de opioides, la estancia hospitalaria y ciertos efectos adversos frente a técnicas como la analgesia epidural torácica. Su perfil de seguridad es favorable y favorece la recuperación mejorada, aunque presenta limitaciones como el inicio retardado del efecto (12–24 h), parestesias transitorias, debilidad muscular prolongada y, raramente, dolor neuropático o lesión pulmonar, riesgos que pueden minimizarse con técnica ecoguiada y adecuada selección de pacientes.

En síntesis, esta tesis aporta una base conceptual y práctica para optimizar el manejo analgésico en este contexto quirúrgico, contribuyendo a mejorar los resultados clínicos, reducir las complicaciones, acelerar la recuperación funcional y disminuir la dependencia de opioides.

Conclusiones

1. La cirugía de corrección del *pectus excavatum*, ya sea mediante técnica abierta o mínimamente invasiva, representa un procedimiento con alto impacto en términos de dolor postoperatorio. En este contexto, la analgesia multimodal ha demostrado ser la estrategia más eficaz al permitir un abordaje integral de los múltiples mecanismos fisiopatológicos del dolor. La combinación racional de técnicas sistémicas y regionales mejora el control analgésico, reduce el consumo de opioides, facilita la movilización precoz, disminuye el riesgo de complicaciones respiratorias y acorta la estancia hospitalaria. Estos beneficios respaldan su implementación como estándar de manejo del dolor postoperatorio en este tipo de cirugía.
2. El *pectus excavatum* es la deformidad congénita más frecuente de la pared torácica anterior y puede tener repercusiones funcionales y estéticas significativas. Su abordaje quirúrgico incluye técnicas abiertas como Ravitch y mínimamente invasivas como Nuss, cada una con características propias en cuanto a invasividad, perfil analgésico y tiempo de recuperación. La selección del abordaje debe individualizarse según las características anatómicas, edad del paciente y experiencia del equipo quirúrgico.
3. El dolor postoperatorio tras la cirugía torácica involucra mecanismos nociceptivos, viscerales y neuropáticos. Su intensidad depende tanto de la técnica quirúrgica utilizada como de factores del paciente. Procedimientos más invasivos, como la toracotomía clásica, se asocian a mayor riesgo de cronificación del dolor. Factores individuales como la edad, el sexo y el uso previo de opioides también influyen en la percepción y evolución del dolor. Un adecuado conocimiento de estos elementos permite implementar estrategias de control del dolor más eficaces.
4. El uso de la analgesia multimodal en el manejo del dolor en este tipo de cirugías, optimiza el control del dolor, mejora la recuperación y disminuye complicaciones asociadas al uso exclusivo de opioides. La tendencia actual es reservar los opioides como fármacos de rescate, debido a su perfil de efectos secundarios y al riesgo de dependencia.

5. Un protocolo eficaz debe integrar técnicas regionales como la analgesia epidural torácica, el bloqueo paravertebral, el bloqueo del plano del erector espinal o del serrato anterior, en combinación con analgesia sistémica escalonada. Este enfoque debe adaptarse al tipo de procedimiento (Nuss o Ravitch), a las condiciones clínicas del paciente y a los recursos disponibles. La estandarización de protocolos permite mejorar la calidad del manejo perioperatorio y los resultados clínicos.
6. La incorporación de la crioablación intercostal en la reparación mínimamente invasiva de *pectus excavatum* representa un avance significativo en el manejo del dolor postoperatorio dentro de la anestesiología moderna. Al proporcionar analgesia prolongada sin los riesgos de la analgesia neuroaxial y con un marcado efecto ahorrador de opioides, esta técnica se alinea con los principios de la recuperación postoperatoria optimizada, mejorando el confort del paciente y reduciendo complicaciones asociadas al uso prolongado de analgésicos sistémicos. Si bien, su implementación exige una adecuada formación técnica y criterios rigurosos de selección, la evidencia actual respalda su integración como una herramienta clave dentro de estrategias multimodales personalizadas, consolidando su papel como alternativa segura y efectiva en la práctica anestésica contemporánea.
7. La implementación de un enfoque de analgesia multimodal en la cirugía de *pectus excavatum* ofrece múltiples beneficios clínicos, funcionales y logísticos. Su correcta aplicación, basada en la evidencia y ajustada a las necesidades individuales del paciente, constituye un componente esencial en la optimización del manejo perioperatorio. La formación continua en técnicas analgésicas avanzadas y el diseño de protocolos institucionales respaldados por literatura científica son fundamentales para mejorar los estándares de atención en anestesia.

Referencias bibliográficas

- Aly, M. R., Farina, J. M., Botros, M. M., & Jaroszewski, D. E. (2023b). Minimally invasive repair of pectus excavatum in adults: A review article of presentation, workup, and surgical treatment. *Journal of Thoracic Disease*, *15*(9), 5150-5173.
<https://doi.org/10.21037/jtd-23-87>
- Archer, V., Robinson, T., Kattail, D., Fitzgerald, P., & Walton, J. M. (2020). Postoperative pain control following minimally invasive correction of pectus excavatum in pediatric patients: A systematic review. *Journal of Pediatric Surgery*, *55*(5), 805-810. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2020.01.023>
- Ardon, A. E., Lee, J., Franco, C. D., Riutort, K. T., & Greengrass, R. A. (2020). Paravertebral block: Anatomy and relevant safety issues. *Korean Journal of Anesthesiology*, *73*(5), 394-400. <https://doi.org/10.4097/kja.20065>
- Brown, D. L., & Mariano, E. R. (2022). *Spinal, Epidural, and Caudal Anesthesia: Vol. Miller's Basics of Anesthesia* (9.^a ed.). Elsevier.
- Buck, R., Ho, A. M. H., Latmore, M., & Levine, M. (2021). *Intercostal Nerve Block* (3.^a ed.). McGraw Hill.
- Chen, L.-J., Chen, S.-H., Hsieh, Y.-L., & Yu, P.-C. (2023). Continuous nerve block versus thoracic epidural analgesia for post-operative pain of pectus excavatum repair: A systematic review and meta-analysis. *BMC Anesthesiology*, *23*(1), 266.
<https://doi.org/10.1186/s12871-023-02221-x>
- Chin, K. J., & El-Boghdadly, K. (2021). Mechanisms of action of the erector spinae plane (ESP) block: A narrative review. *Canadian Journal of Anesthesia/Journal Canadien d'anesthésie*, *68*(3), 387-408. [https://doi.org/10.1007/s12630-020-01875-](https://doi.org/10.1007/s12630-020-01875-2)

- Chin, K. J., Versyck, B., & Pawa, A. (2021). Ultrasound-guided fascial plane blocks of the chest wall: A state-of-the-art review. *Anaesthesia*, *76*(S1), 110-126.
<https://doi.org/10.1111/anae.15276>
- Chiu, M. Z., Li, R., Koka, A., & Demehri, F. R. (2024). Pain management after pediatric minimally invasive repair of pectus excavatum: A narrative review. *Translational Pediatrics*, *13*(12), 2267-2281. <https://doi.org/10.21037/tp-24-339>
- Ciriaco, P. (2025). Surgical Treatment of Pectus Excavatum: The Boundary Between Pathologic and Aesthetic Need. *Journal of Clinical Medicine*, *14*(1), 231.
<https://doi.org/10.3390/jcm14010231>
- Daemen, J. H. T., De Loos, E. R., Vissers, Y. L. J., Bakens, M. J. A. M., Maessen, J. G., & Hulsewé, K. W. E. (2020). Intercostal nerve cryoablation versus thoracic epidural for postoperative analgesia following pectus excavatum repair: A systematic review and meta-analysis. *Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery*, *31*(4), 486-498. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivaa151>
- De Loos, E. R., Pennings, A. J., Van Roozendaal, L. M., Daemen, J. H. T., Van Gool, M. H., Lenderink, T., Van Horck, M., Hulsewé, K. W. E., & Vissers, Y. L. J. (2021). Nuss Procedure for Pectus Excavatum: A Comparison of Complications Between Young and Adult Patients. *The Annals of Thoracic Surgery*, *112*(3), 905-911.
<https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2020.10.017>
- Dunning, J., Burdett, C., Child, A., Davies, C., Eastwood, D., Goodacre, T., Haecker, F.M., Kendall, S., Kolvekar, S., MacMahon, L., Marven, S., Murray, S., Naidu, B., Pandya, B., Redmond, K., & Coonar, A. (2024). The pectus care guidelines: Best practice consensus guidelines from the joint specialist societies

- SCTS/MF/CWIG/BOA/BAPS for the treatment of patients with pectus abnormalities. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, 66(1), ezae166. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezae166>
- Fenikowski, D., & Tomaszek, L. (2022). Intravenous Morphine Infusion versus Thoracic Epidural Infusion of Ropivacaine with Fentanyl after the Ravitch Procedure—A Single-Center Cohort Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(18), 11291. <https://doi.org/10.3390/ijerph191811291>
- Finneran Iv, J. J., & Ilfeld, B. M. (2021). Percutaneous cryoneurolysis for acute pain management: Current status and future prospects. *Expert Review of Medical Devices*, 18(6), 533-543. <https://doi.org/10.1080/17434440.2021.1927705>
- Haecker, F.-M. (2023). Evolution in the management of pectus excavatum in pediatric patients. *Translational Pediatrics*, 12(8), 1450-1453. <https://doi.org/10.21037/tp-23-264>
- Hamilton, C., Alfille, P., Mountjoy, J., & Bao, X. (2022). Regional anesthesia and acute perioperative pain management in thoracic surgery: A narrative review. *Journal of Thoracic Disease*, 14(6), 2276-2296. <https://doi.org/10.21037/jtd-21-1740>
- Health of Science University, Basaksehir Cam and Sakura City Hospital, Department of Thoracic Surgery, Istanbul, Türkiye, & Dubus, T. (2024). Pectus excavatum treatment with the Nuss procedure: Comparative results in pediatric and adult patients – experiences of a single physician. *European Journal of Clinical and Experimental Medicine*, 22(3), 507-513. <https://doi.org/10.15584/ejcem.2024.3.5>
- Jacobson, J., Postma, H., Mokdad, A., Qureshi, F., Alder, A., Hicks, B., Schindel, D., & Pandya, S. (2020). Physician-Estimated Depth as a Screening Tool for Computed Tomography Evaluation of Pectus Excavatum. *Journal of Surgical Research*, 256, 687-692. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2020.03.072>

- Janssen, N., Coorens, N. A., Franssen, A. J. P. M., Daemen, J. H. T., Michels, I. L., Hulsewé, K. W. E., Vissers, Y. L. J., & De Loos, E. R. (2024). Pectus excavatum and carinatum: A narrative review of epidemiology, etiopathogenesis, clinical features, and classification. *Journal of Thoracic Disease, 16*(2), 1687-1701.
<https://doi.org/10.21037/jtd-23-957>
- Janssen, N., Daemen, J. H. T., Van Polen, E. J., Coorens, N. A., Jansen, Y. J. L., Franssen, A. J. P. M., Hulsewé, K. W. E., Vissers, Y. L. J., Haecker, F.-M., Milanez De Campos, J. R., De Loos, E. R., Abramson, H. A., Aguiar, W. W. S., Alder, A. C., Ambriz-González, G., Andrews, J., Backhus, L. M., De Beer, S. A., De Campos, J. R. M., ... Zijp, G. W. (2023). Pectus Excavatum: Consensus and Controversies in Clinical Practice. *The Annals of Thoracic Surgery, 116*(1), 191-199.
<https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2023.02.059>
- Jaroszewski, D. E., Farina, J. M., Botros, M. M., Aly, M. R., Peterson, M., Lackey, J., Pulivarthi, K. V., Smith, B., Craner, R., & Stearns, J. D. (2024). Evolution of Pain Control for Adult Pectus Excavatum Repair. *The Annals of Thoracic Surgery, 117*(4), 829-837. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2023.04.044>
- Ka, E. S., Rim, G. M., Kang, S., Bae, S., Jang, I.-T., & Park, H. J. (2024). Serratus Anterior Plane Block: A Better Modality of Pain Control after Pectus Excavatum Repair. *Journal of Chest Surgery, 57*(3), 291-299. <https://doi.org/10.5090/jcs.23.139>
- Kot, P., Rodriguez, P., Granell, M., Cano, B., Rovira, L., Morales, J., Broseta, A., & Andrés, J. D. (2019). The erector spinae plane block: A narrative review. *Korean Journal of Anesthesiology, 72*(3), 209-220. <https://doi.org/10.4097/kja.d.19.00012>
- López, A. M., Balocco, A. L., Vandepitte, C., & Hadzic, A. (2021). Serratus Plane Block. En *Hadzic's Peripheral Nerve Blocks and Anatomy for Ultrasound-Guided Regional Anesthesia* (3.^a ed., pp. 341-347). McGraw-Hill.

- López, A. M., & Bolocco, A. L. (2021). Pectoral Nerves Block. En *Hadzic's Peripheral Nerve Blocks and Anatomy for Ultrasound-Guided Regional Anesthesia* (3.^a ed., pp. 332-339). McGraw-Hill.
- López, A. M., Bolocco, A. L., & Hadzic, A. (2021). Erector Spinae Plane Block. En *Hadzic's Peripheral Nerve Blocks and Anatomy for Ultrasound-Guided Regional Anesthesia* (3.^a ed., pp. 359-366). McGraw Hill.
- Ma, B., Sun, Y., Hao, C., Liu, X., & Shen, S. (2022). Patient-Controlled Intravenous Analgesia with or without Ultrasound-Guided Bilateral Intercostal Nerve Blocks in Children Undergoing the Nuss Procedure: A Randomized, Double-Blinded, Controlled Trial. *Pain Research and Management*, 2022, 1-8.
<https://doi.org/10.1155/2022/5776833>
- Manassero, A., Bossolasco, M., Carrega, M., & Coletta, G. (2020). <p>Postoperative Thoracic Epidural Analgesia: Adverse Events from a Single-Center Series of 3126 Patients</p>. *Local and Regional Anesthesia, Volume 13*, 111-119.
<https://doi.org/10.2147/lra.s272410>
- Mao, Y. Z., Tang, S., & Li, S. (2017). Comparison of the Nuss versus Ravitch procedure for pectus excavatum repair: An updated meta-analysis. *Journal of Pediatric Surgery*, 52(10), 1545-1552. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2017.05.028>
- Marshall, K., & McLaughlin, K. (2020). Pain Management in Thoracic Surgery. *Thoracic Surgery Clinics*, 30(3), 339-346. <https://doi.org/10.1016/j.thorsurg.2020.03.001>
- McClymont, W., & Celnick, D. (2018). Techniques of epidural block. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*, 19(11), 600-606.
<https://doi.org/10.1016/j.mpaic.2018.08.022>
- Muhly, W. T., Beltran, R. J., Bielsky, A., Bryskin, R. B., Chinn, C., Choudhry, D. K., Cucchiaro, G., Fernandez, A., Glover, C. D., Haile, D. T., Kost-Byerly, S.,

- Schnepper, G. D., Zurakowski, D., Agarwal, R., Bhalla, T., Eisdorfer, S., Huang, H., Maxwell, L. G., Thomas, J. J., ... Cravero, J. P. (2019). Perioperative Management and In-Hospital Outcomes After Minimally Invasive Repair of Pectus Excavatum: A Multicenter Registry Report From the Society for Pediatric Anesthesia Improvement Network. *Anesthesia & Analgesia*, *128*(2), 315-327.
<https://doi.org/10.1213/ANE.00000000000003829>
- Obermeyer, R. J., Cohen, N. S., Kelly, R. E., Ann Kuhn, M., Frantz, F. W., McGuire, M. M., & Paulson, J. F. (2018). Nonoperative management of pectus excavatum with vacuum bell therapy: A single center study. *Journal of Pediatric Surgery*, *53*(6), 1221-1225. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2018.02.088>
- O'Neill, A., & Lirk, P. (2022). Multimodal Analgesia. *Anesthesiology Clinics*, *40*(3), 455-468. <https://doi.org/10.1016/j.anclin.2022.04.002>
- Park, D., & Chang, M. C. (2022). Ultrasound-guided interventions for controlling the thoracic spine and chest wall pain: A narrative review. *Journal of Yeungnam Medical Science*, *39*(3), 190-199. <https://doi.org/10.12701/jyms.2022.00192>
- Park, R., Coomber, M., Gilron, I., & Shanthanna, H. (2021). Cryoanalgesia for postsurgical pain relief in adults: A systematic review and meta-analysis. *Annals of Medicine & Surgery*, *69*. <https://doi.org/10.1016/j.amsu.2021.102689>
- Paul, J., Siddiqui, A., Tse, A., Fitzgerald, P., & Teh, B. (2016). Postoperative epidural analgesia for patients undergoing pectus excavatum corrective surgery: A 10-year retrospective analysis. *Local and Regional Anesthesia*, *25*.
<https://doi.org/10.2147/LRA.S80710>
- Rim, G., Park, H. J., Kang, S., Jeong, J. Y., Koo, J., Jang, I.-T., & Bae, S. (2024). Serratus anterior plane block for acute pain management after pectus excavatum repair. *Frontiers in Surgery*, *10*, 1305326. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2023.1305326>

- Sarridou, D. G., Mouratoglou, S. A., Mitchell, J. B., Cox, F., Boutou, A., Braoudaki, M., Lambrou, G. I., Konstantinidou, M., Argiriadou, H., & Walker, C. P. R. (2023). Post-Operative Thoracic Epidural Analgesia and Incidence of Major Complications according to Specific Safety Standardized Documentation: A Large Retrospective Dual Center Experience. *Journal of Personalized Medicine*, *13*(12), 1672. <https://doi.org/10.3390/jpm13121672>
- Scalise, P. N., & Demehri, F. R. (2023). ** The management of pectus excavatum in pediatric patients: A narrative review. *Translational Pediatrics*, *12*(2), 208-220. <https://doi.org/10.21037/tp-22-361>
- Sertcakacilar, G., & Kose, S. (2022). Bilateral PECS II Block is Associated with Decreased Opioid Consumption and Reduced Pain Scores for up to 24 hours After Minimally Invasive Repair of Pectus Excavatum (Nuss Procedure): A Retrospective Analysis. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, *36*(10), 3833-3840. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2022.06.001>
- Shaalan, A. M., Kasb, I., Elwakeel, E. E., & Elkamali, Y. A. (2017). Outcome of surgical repair of Pectus Excavatum in adults. *Journal of Cardiothoracic Surgery*, *12*(1), 72. <https://doi.org/10.1186/s13019-017-0635-z>
- Shaikh, S., Khan, A. R., Saini, S., Naimat, A., Amudha, C., Bannur, D., Ajayi, E., Rehman, A., Shah, S., Fakhrudin, N. M., Kormath, N., & Mylavarapu, M. (2025). Cryoneurolysis: A Comprehensive Review of Applications in Pain Management. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.79448>
- Tornero Tornero, C., Fernández Rodríguez, L. E., & Orduña Valls, J. (2017). Analgesia multimodal y anestesia regional. *Revista Española de Anestesiología y Reanimación*, *64*(7), 401-405. <https://doi.org/10.1016/j.redar.2017.01.008>

- Toselli, L., Chinni, E., Nazar-Peirano, M., Vallee, M., Sanjurjo, D., Martinez, J., & BelliaMunzon, G. (2022). Determinants of success associated with vacuum bell treatment of pectus excavatum. *Journal of Pediatric Surgery*, 57(11), 550-554.
<https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2022.04.010>
- Yang, J., Xu, M., & Zhang, G. (2024). Erector Spinae Plane Block Provided Comparable Analgesia as Thoracic Paravertebral Block Post Pediatric Nuss Procedure for Pectus Excavatum: A Randomized Controlled Trial. *Pain Physician*.
- Yeung, J. H., Gates, S., Naidu, B. V., Wilson, M. J., & Gao Smith, F. (2016). Paravertebral block versus thoracic epidural for patients undergoing thoracotomy. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2016(3).
<https://doi.org/10.1002/14651858.CD009121.pub2>

Anexo

Ficha técnica. Estrategias avanzadas de analgesia multimodal en la cirugía de *pectus excavatum*.

<p>Parenteral</p>	<p>AINE, Paracetamol, Opioides Paracetamol 1 g IV cada 6 horas Diclofenaco 75 mg IM cada 12 horas Metamizol 20–30 mg/kg IV cada 8 horas Lidocaína 0.075 mg/kg/h en infusión IV hasta 24 hrs •Morfina 0.03–0.15 mg/kg IV cada 8 horas o prn</p>
<p>Neuroaxial</p>	<p>Catéter epidural Morfina espinal 100–300 mcg dosis única Bupivacaína en infusión epidural 0.125% 5–8 cc/h Morfina epidural 30 a 100 mcg/kg cada 12 horas utilizándola como infusión continua a 0.2–0.4 mg/hora</p>
<p>Regional</p>	<p>•Bloqueo intercostal Bloqueo pared torácica/abdominal segmentario PECS II Bloqueo nervios pectorales, intercostales anteriores y toracodorsal Serrato anterior Bloqueo ramas cutáneas laterales T2–T6 Paravertebral Bloqueo somático y visceral ipsilateral multisegmentar Erector espinal Bloqueo somático y visceral por difusión al espacio paravertebral</p>
<p>Crioanalgesia</p>	<p>•Crioneurolysis intercostal — Sonda de crioablación aplicada 1–2 min por nervio, temp. –60 a –100 °C Analgesia prolongada (semanas a meses) por interrupción reversible de conducción nerviosa</p>

Resumen de opciones de bloqueos regionales analgésicas para el control del dolor perioperatorio agudo

Anestesia regional	Nervios afectados	Efecto esperado	Toracotomía	Toracoscopia
Analgesia epidural torácica	Nervios espinales bilaterales (incluye ramo dorsal, ramo ventral/nervio intercostal y fibras viscerales/cadena simpática)	Bloqueo somático y visceral bilateral multisegmentario, simpatectomía	Considerar salvo contraindicación	Probablemente innecesaria/no superior a otros enfoques regionales
Bloqueo paravertebral	Nervio espinal ipsilateral (incluye ramo dorsal, ramo ventral/nervio intercostal y fibras viscerales/cadena simpática)	Bloqueo somático y visceral unilateral multisegmentario	Considerar PVB continuo	Considerar firmemente salvo contraindicación
Bloqueo del nervio intercostal	Nervio intercostal con ramos cutáneos laterales y anteriores, ramos musculares y pleurales	Bloqueo somático lateral y anterior unilateral a nivel único	Considerar si no es posible usar TEA o PVB	Considerar, posiblemente en combinación con otros bloqueos de pared torácica
Bloqueo del plano del serrato anterior	Ramo cutáneo lateral del nervio intercostal	Bloqueo somático anterolateral multisegmentario	Considerar si no es posible usar TEA o PVB	Considerar, posiblemente en combinación con otros bloqueos de pared torácica
Bloqueo del plano del erector de la columna	Ramo dorsal, potencialmente ramo ventral/nervio intercostal y fibras viscerales/cadena simpática	Bloqueo somático posterior unilateral multisegmentario, posible bloqueo segmentario somático y visceral	Considerar si no es posible usar TEA o PVB	Considerar, posiblemente en combinación con otros bloqueos de pared torácica

Nota. Tomado de Hamilton et al., 2022.

Resumen de opciones analgésicas sistémicas para el control del dolor perioperatorio agudo

Fármaco	Beneficios	Precauciones	Toracotomía	Toracoscopía
Paracetamol	Seguro, sinérgico con AINE, efectivo para el dolor referido de hombro	Bajo riesgo sin efectos adversos significativos, precaución si hay enfermedad hepática significativa	Usar a menos que este contraindicado	Usar a menos que este contraindicado
AINE	Ahorrradores de opioides, sinérgicos con paracetamol	Riesgo de sangrado, lesión renal aguda (AKI) y daño a la mucosa gastrointestinal	Usar a menos que este contraindicado	Usar a menos que este contraindicado
Ketamina	Ahorrradora de opioides, sinérgica con opioides, evita la depresión respiratoria	Alucinaciones, pesadillas	Considerar en pacientes seleccionados (por ejemplo, dolor crónico con opioides)	Considerar en pacientes seleccionados (por ejemplo, dolor crónico con opioides, no candidato para otros adyuvantes)
Gabapentinoides	Posiblemente ahorradores de opioides, relevancia clínica cuestionable	Riesgo de sedación, depresión respiratoria con opioides	Evitar a menos que se use previamente a la cirugía	Evitar a menos que se use previamente a la cirugía
Lidocaína IV	Potencial efecto antiinflamatorio, efecto tópico preventivo	Riesgo de toxicidad sistémica por anestésico local	Considerar si no se usan anestésicos locales regionales, aunque su beneficio no está claro	Considerar si no se usan anestésicos locales regionales, aunque su beneficio no está claro
Dexametasona	Efecto analgésico ahorrador de opioides, profilaxis de náuseas y vómitos postoperatorios (PONV)	Hiper glucemia	Usar a menos que este contraindicado	Usar a menos que este contraindicado
Opioides	Analgésicos	Depresión respiratoria, sedación, estreñimiento, tolerancia, dependencia	Usar según necesidad (por ejemplo, PCA, opioides orales con IV para dolor irruptivo)	Usar según necesidad (por ejemplo, PCA, opioides orales con IV para dolor irruptivo)

Nota. Tomado de Hamilton et al., 2022.

