Rev Colomb Cir. 2027;42:(en prensa)
https://doi.org/10.30944/20117582.3441

ARTÍCULO ORIGINAL

Validación de la aplicación *Carolinas Equation for Determining Associated Risks (CeDAR)* para la predicción del riesgo de infección de sitio operatorio en cirugía de reconstrucción de pared abdominal en un centro de referencia de Medellín, Colombia

Validation of the Carolinas Equation for Determining Associated Risks (CeDAR) for predicting the risk of surgical site infection in abdominal wall reconstruction surgery at a referral center in Medellín, Colombia

Pedro Zapata-Uribe, MD[1], Carlos Andrés Calle-Lotero, MD[2], Faber Albeiro Machado-Rivera, MD[2], Hugo Tolosa-Pérez, MD[3], Alejandro Madrigal-Montoya, MD[1], Salomón Manzur-Arango, MD[1], Hernán Camilo Luna-Hurtado, MD[4], Federico López-Uribe, MD[5], Felipe Zapata-Uribe, MD[2]

1 Programa de especialización en Cirugía General, Universidad CES, Medellín, Colombia.
2 Departamento de Cirugía, Grupo de pared abdominal, Clínica CES, Medellín, Colombia.
3 Departamento de Anestesiología, Clínica CES, Medellín, Colombia.
4 Departamento de Cirugía, Clínica CES; Fundación Colombiana de Cancerología, Clínica Vida, Hospital Manuel Uribe Ángel, Medellín, Colombia.
5 Departamento de Cirugía, Clínica Las Américas; Hospital General de Medellín, Medellín, Colombia.

Trabajo ganador del Tercer puesto en el Concurso Nacional de Investigación en Cirugía "José Félix Patiño Restrepo", categoría Médicos Residentes, Asociación Colombiana de Cirugía, 52° Congreso Semana Quirúrgica Nacional, agosto de 2026.

Resumen

Introducción. La tasa de infección de sitio operatorio (ISO) en la reparación de hernias ventrales con malla alcanza el 10 %. La escala *Carolinas Equation for Determining Associated Risks* (CeDAR) estima este riesgo antes de la cirugía, pero su desempeño no ha sido validado en Latinoamérica. El objetivo de este estudio fue validar la escala CeDAR como predictor de ISO, evaluar su recalibración local y explorar modelos predictivos locales.

Métodos. Estudio observacional analítico de cohorte retrospectiva en un centro de la ciudad de Medellín, Colombia. Se incluyeron los pacientes sometidos a reparación de hernia ventral entre mayo de 2022 y febrero de 2026. El desenlace primario fue la ISO. Se evaluaron discriminación (AUC, AUPRC), calibración (razón observado/esperado, intercepto y pendiente) y utilidad clínica.

Fecha de recibido: 15/06/2026 - Fecha de aceptación: 20/08/2026 - Publicación en línea: 09/11/2026
Correspondencia: Pedro Zapata-Uribe, Calle 5G # 29A-24, Medellín, Colombia. Teléfono: +57 3117292564.
Dirección electrónica: zapata.pedro@uces.edu.co
Citar como: Zapata-Uribe P, Calle-Lotero CA, Machado-Rivera FA, Tolosa-Pérez H, Madrigal-Montoya A, Manzur-Arango S, et al. Validación de la aplicación *Carolinas Equation for Determining Associated Risks* (CeDAR) para la predicción del riesgo de infección de sitio operatorio en cirugía de reconstrucción de pared abdominal en un centro de referencia de Medellín, Colombia. Rev Colomb Cir. 2027;42:(en prensa). https://doi.org/10.30944/20117582.3441
Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia Creative Commons - BY-NC-ND https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es

Resultados. Se analizaron 1414 pacientes y se documentaron 183 eventos de ISO (13,0 %). La escala original sobreestimó el riesgo absoluto (predicho 27,2 %; O/E 0,480) con discriminación modesta (AUC 0,609). La recalibración local corrigió esta sobreestimación (O/E 1,002) manteniendo la discriminación (AUC 0,605). Los modelos locales no superaron a CeDAR: el modelo de componentes/proxies alcanzó AUC 0,613 y el modelo CeDAR-plus mínimo AUC 0,597 en validación cruzada.

Conclusiones. Ninguna escala por sí sola puede explicar completamente el riesgo, sin embargo, CeDAR recalibrado constituye un valioso instrumento para estratificar el riesgo, optimizar al paciente antes de la cirugía y facilitar la toma de decisiones quirúrgicas compartidas.

Palabras clave: hernia ventral; pared abdominal; infección de la herida quirúrgica; complicaciones posoperatorias; medición de riesgo; estudio de validación.

Abstract

Introduction. The surgical site infection (SSI) rate for ventral hernia repair with mesh reaches 10%. The Carolinas Equation for Determining Associated Risks (CeDAR) scale estimates this risk prior to surgery, but its performance has not been validated in Latin America. The aim of this study was to validate the CeDAR scale as a predictor of SSI, evaluate its local recalibration, and explore local predictive models.

Methods. An analytical, retrospective cohort observational study conducted at a center in Medellín, Colombia. Patients undergoing ventral hernia repair between May 2022 and February 2026 were included. The primary outcome was surgical site infection (SSI). Discrimination (AUC, AUPRC), calibration (observed-to-expected ratio, intercept, and slope), and clinical utility were evaluated.

Results. A total of 1,414 patients were analyzed, and 183 SSI events were documented (13.0%). The original scale overestimated absolute risk (predicted 27.2%; O/E 0.480) with modest discrimination (AUC 0.609). Local recalibration corrected this overestimation (O/E 1.002) while maintaining discrimination (AUC 0.605). Local models did not outperform CeDAR: the components/proxies model achieved an AUC of 0.613, and the minimal CeDAR-plus model achieved an AUC of 0.597 in cross-validation.

Conclusions. No single scale can fully explain the risk; however, the recalibrated CeDAR serves as a valuable tool for risk stratification, preoperative patient optimization, and facilitating shared surgical decision-making.

Keywords: ventral hernia; abdominal wall; surgical wound infection; postoperative complications; risk assessment; validation study.

Introducción

Las hernias ventrales son una patología heterogénea de la pared abdominal que, según la *European Hernia Society (EHS),* van desde hernias primarias pequeñas hasta hernias incisionales complejas con alteración significativa de la anatomía y la función de la pared abdominal [1]. Las hernias incisionales son las más frecuentes, con cifras que oscilan entre 12,8 % y 30 % en los primeros dos años tras una cirugía abdominal [1-4].

En los defectos de mayor tamaño, especialmente cuando se asocian con recurrencia, pérdida de dominio, compromiso de tejidos blandos o comorbilidades relevantes, la hernia se convierte en un verdadero reto reconstructivo, con repercusión sobre la mecánica respiratoria, la funcionalidad y la calidad de vida del paciente [4]. Además, se puede asociar a complicaciones intestinales como la incarceración o la isquemia [2,4]. Dentro de los criterios de complejidad descritos por la *EHS* se encuentran: diámetro mayor a 10 cm, pérdida de dominio, hernia paraestomal concomitante, infección previa de la malla, presencia de estoma o antecedente de separación de componentes, entre otros [5].

EN PRENSA

Frente a este escenario, el manejo quirúrgico ha cambiado de forma notable en las últimas décadas [5]. El cierre primario, alguna vez el estándar, ha sido reemplazado por estrategias orientadas a restaurar la línea media con refuerzo protésico, como por ejemplo, la reparación retromuscular tipo *Rives-Stoppa*, los abordajes preperitoneales, las técnicas mínimamente invasivas extraperitoneales y, para los defectos más exigentes, la liberación del oblicuo externo o del transverso abdominal [6,7].

A pesar de estos avances, la reconstrucción de la pared abdominal continúa asociándose con una carga significativa de complicaciones postoperatorias (4-48 %), entre ellas seroma, hematoma, dehiscencia, necrosis cutánea, infección del sitio operatorio (ISO), infección de la malla, reintervención y recurrencia [8,9].

Entre todas estas, la ISO es relevante, dado que la mayoría de las reparaciones ventrales requieren el uso de material protésico, y la contaminación o la infección de la malla puede desencadenar readmisiones, necesidad de terapias antibióticas prolongadas, procedimientos percutáneos, reoperaciones, explantación protésica y deterioro en la calidad de vida [6,10,11]. Resulta casi paradójico que, clasificándose como herida limpia, la reparación con malla mantenga tasas de ISO entre el 1 % y 10 % [11,12]. Esa variabilidad responde a la interacción entre factores del huésped, características del defecto, estado tisular, grado de contaminación y condiciones perioperatorias. De ahí que la estratificación preoperatoria del riesgo sea una herramienta clave para individualizar la indicación quirúrgica, optimizar al paciente antes de operarlo y anticipar recursos hospitalarios [13].

Esa necesidad impulsó el desarrollo de múltiples escalas de predicción como el *Ventral Hernia Working Group (VHWG)*, el *Ventral Hernia Risk Score (VHRS)*, el *Hernia Wound Risk Assessment Tool (HWRAT)*, el *ACS-NSQIP Surgical Risk Calculator* y el *Carolinas Equation for Determining Associated Risks (CeDAR)* [4,14,15]. La escala *CeDAR*, derivada de una cohorte prospectiva de pacientes sometidos a reparación abierta de hernia ventral, estima el riesgo individual de complicaciones de la herida y su costo asociado a partir de seis variables preoperatorias: tabaquismo, infección activa, reparación ventral previa, diabetes no controlada, enterotomía o presencia de estoma e índice de masa corporal (IMC) [4,13].

La escala *CeDAR* ofrece una aproximación práctica, rápida y centrada en variables preoperatorias, sin embargo, se desarrolló en una población estadounidense y bajo contextos institucionales, epidemiológicos y quirúrgicos que pueden diferir de los observados en Latinoamérica. Tampoco incorpora variables como el tamaño del defecto, pérdida de dominio, estado nutricional, plano y tipo de malla, fragilidad del paciente o clasificación del estado físico de la *American Society of Anesthesiologists* (ASA).

Hasta donde se pudo determinar mediante una búsqueda de la literatura en PubMed y LILACS, no se ha puesto a prueba su desempeño en la población latinoamericana. En consecuencia, el objetivo del presente estudio fue evaluar el desempeño de la escala *CeDAR* para predecir infección de sitio operatorio y otras complicaciones en pacientes sometidos a reconstrucción de pared abdominal en un centro de referencia de Medellín, Colombia. Mediante la validación de esta herramienta en nuestra población se busca determinar su aplicabilidad local, identificar posibles limitaciones del modelo y contribuir al desarrollo de estrategias de estratificación de riesgo ajustadas al contexto clínico, quirúrgico y epidemiológico de nuestro centro.

Métodos

Tipo de estudio y población

Se realizó un estudio observacional analítico de cohorte retrospectiva, a partir de una base de datos institucional de pacientes adultos sometidos a reconstrucción de pared abdominal entre mayo de 2022 y febrero de 2026, en la Clínica CES, de Medellín, Colombia. Los casos incluidos corresponden a todos los pacientes identificados en la base de datos del programa de cirugía de pared abdominal que requirieron reparación de hernia ventral y reconstrucción de pared abdominal, confirmados mediante revisión manual de las historias clínicas.

EN PRENSA

Desenlace

El desenlace primario fue la ISO, definida según los criterios de la *National Healthcare Safety Network* (NHSN/CDC) [6] en superficial, profunda o de órgano/espacio, con seguimiento hasta 12 meses postoperatorios.

Variables

Se recolectaron variables demográficas, clínicas y quirúrgicas. Dado que *CeDAR* ya integra algunas de estas condiciones (IMC, tabaquismo, diabetes no controlada, cirugía previa, apertura gastrointestinal/estoma, infección activa, colgajos cutáneos y separación de componentes), las variables/proxies correspondientes (Tabla 1) no se incluyeron simultáneamente con *CeDAR* en los modelos recalibrados o en los modelos alternativos *(CeDAR-plus)*, para evitar el sobreajuste de los modelos.

Análisis estadístico

Las variables continuas se resumieron con mediana y rango intercuartílico (RIC) y las categóricas con frecuencias absolutas y porcentajes; las comparaciones de estas variables según la presencia de ISO se evaluaron mediante pruebas de contraste de hipótesis con fines exclusivamente descriptivos, sin que estos resultados se usaran para seleccionar predictores de los modelos.

Los predictores candidatos se preespecificaron según disponibilidad temporal, plausibilidad clínica, baja proporción de faltantes e interpretabilidad, excluyendo variables posoperatorias para evitar fuga de información. Se compararon cinco estrategias para el modelaje predictivo: *CeDAR* original; *CeDAR* recalibrado; un modelo con los proxies de *CeDAR* sin incluir el puntaje original; un modelo local parsimonioso sin *CeDAR*; y modelos *"CeDAR-plus"* no redundantes (versión mínima y extendida), entendidos como el puntaje *CeDAR* combinado con un número reducido de variables clínicas adicionales no redundantes con sus componentes constitutivos; un modelo perioperatorio exploratorio se evaluó como análisis secundario.

Los modelos locales se ajustaron mediante regresión logística con penalización *ridge*, que permitió mantener los predictores clínicamente preespecificados y reducir el sobreajuste sin recurrir a selección automática por valores de p. Las variables categóricas se codificaron como indicadores binarios y se incluyeron, junto con las continuas, en un flujo de estandarización e imputación de datos faltantes, ejecutado de forma independiente dentro del conjunto de datos de entrenamiento y prueba, seleccionados de forma aleatoria para la validación cruzada.

La recalibración local de *CeDAR* se realizó mediante un modelo logístico univariado, utilizando el *logit* de la probabilidad *CeDAR* como único predictor, lo que permite estimar un nuevo intercepto y una nueva pendiente de calibración sin modificar el ordenamiento relativo de los pacientes.

Tabla 1. Componentes de la escala CeDAR y variables proxy identificadas en la base institucional.

Componentes de CeDAR	Variables/proxy en la base
IMC	Talla, peso, IMC
Tabaquismo actual	Consumo de cigarrillo
Diabetes no controlada	Diabetes mellitus
Cirugía/reparación previa	Número de cirugías previas; malla previa; hernia recurrente
Apertura gastrointestinal/estoma	Tipo de herida; hernia paraestomal; resección/lesión intestinal
Infección activa	Tipo de herida
Colgajos cutáneos/avance subcutáneo	Hernia compleja/gigante
Separación de componentes	Tipo de cirugía

** CeDAR*: *Carolinas Equation for Determining Associated Risks*; IMC: índice de masa corporal.

Fuente: elaboración propia.

EN PRENSA

El desempeño de cada estrategia se evaluó mediante su capacidad de discriminación (con área bajo la curva [AUC], área bajo la curva precisión-*recall* [AUPRC], sensibilidad, especificidad, valores predictivos, razones de verosimilitud), calibración (razón observado/esperado, intercepto y pendiente de calibración, calibración por deciles) y medidas de utilidad clínica en distintos umbrales (curvas de decisión). La validación interna se realizó mediante validación cruzada estratificada de cinco particiones, reportando el desempeño aparente y el desempeño validado internamente.

Resultados

Características de la cohorte

Nuestra base institucional incluyó 1415 registros. El desenlace de ISO estuvo disponible en 1414 pacientes, quienes conformaron la cohorte descriptiva y de desarrollo de los modelos locales; de estos, 1403 contaban además con el puntaje *CeDAR* y fueron incluidos en la validación del modelo original y en su recalibración (Figura 1). Se documentaron 183 casos de ISO, correspondientes a una incidencia del 12,9 % en la cohorte con desenlace disponible y del 13,0 % en la cohorte utilizada para validar *CeDAR*.

La mediana de edad fue de 59 años (RIC: 48–68), el 59,1 % de los pacientes fueron mujeres y la mediana del IMC fue de 28,4 kg/m^2 (RIC: 25,8–31,3) (Tabla 2). La mediana del riesgo predicho por *CeDAR* para el total de la cohorte fue del 24 % (RIC: 13–36). Al comparar según la presencia de ISO, los pacientes que desarrollaron la complicación presentaron un puntaje *CeDAR* mayor que aquellos sin infección, con mediana del 32 % (RIC: 17–44) frente al 23 % (RIC: 13–35; p<0,001),

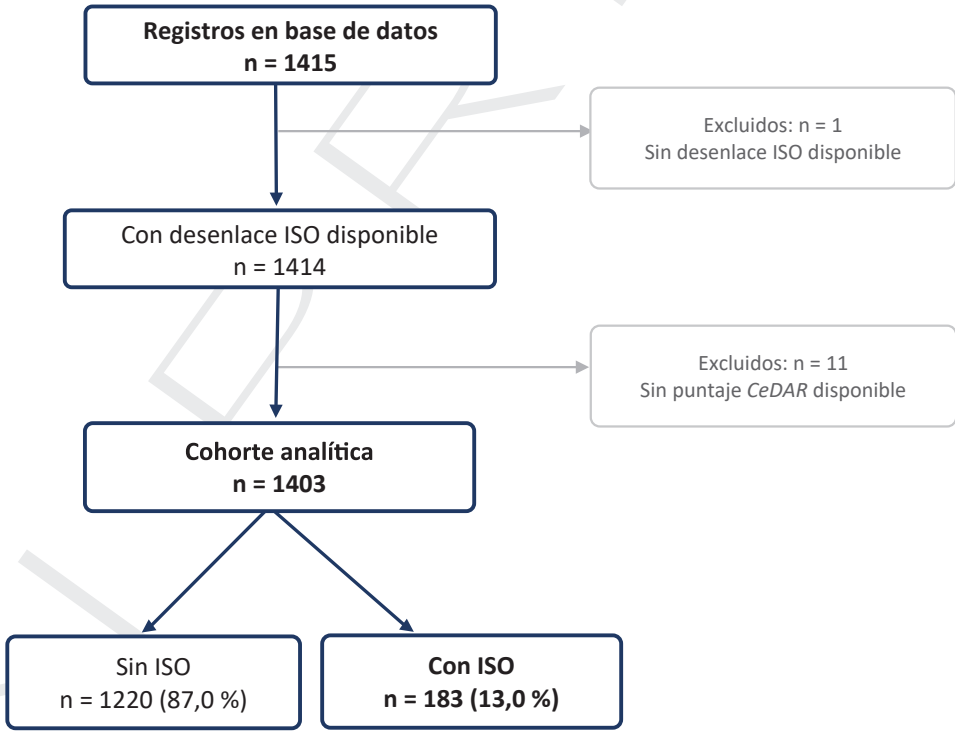


Figura 1. Flujo de la cohorte analítica.

* ISO: infección del sitio operatorio; CeDAR: puntaje preoperatorio de la escala *Carolinas Equation for Determining Associated Risks*.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Variables categóricas clínicas y quirúrgicas según presencia de infección del sitio operatorio (ISO)

Variable	Total	Sin ISO	Con ISO	p
Sexo				
Femenino	835/1414 (59,1 %)	719/1231 (58,4 %)	116/183 (63,4 %)	0,416
Masculino	578/1414 (40,9 %)	511/1231 (41,5 %)	67/183 (36,6 %)	
Clasificación de IMC				
Bajo peso	6/1414 (0,4 %)	5/1231 (0,4 %)	1/183 (0,5 %)	
Normal	269/1414 (19,0 %)	247/1231 (20,1 %)	22/183 (12,0 %)	
Sobrepeso	616/1414 (43,6 %)	536/1231 (43,5 %)	80/183 (43,7 %)	
Obesidad 1	407/1414 (28,8 %)	350/1231 (28,4 %)	57/183 (31,1 %)	0,090
Obesidad 2	105/1414 (7,4 %)	83/1231 (6,7 %)	22/183 (12,0 %)	0,090
Obesidad 3 (mórbida)	8/1414 (0,6 %)	7/1231 (0,6 %)	1/183 (0,5 %)	
Tabaquismo				
No	1084/1414 (76,7 %)	960/1231 (78,0 %)	124/183 (67,8 %)	0,017
Exfumador	213/1414 (15,1 %)	177/1231 (14,4 %)	36/183 (19,7 %)	
Activo	116/1414 (8,2 %)	93/1231 (7,6 %)	23/183 (12,6 %)	
Malla previa				
No	980/1414 (69,3 %)	865/1231 (70,3 %)	115/183 (62,8 %)	0,091
Sí	431/1414 (30,5 %)	363/1231 (29,5 %)	68/183 (37,2 %)	
Tipo de herida				
Limpia	79/1414 (5,6 %)	71/1231 (5,8 %)	8/183 (4,4 %)	
Limpia-contaminada	1219/1414 (86,2 %)	1074/1231 (87,2 %)	145/183 (79,2 %)	
Contaminada	112/1414 (7,9 %)	83/1231 (6,7 %)	29/183 (15,8 %)	<0,001
Sucia	2/1414 (0,1 %)	2/1231 (0,2 %)	0/183 (0,0 %)	<0,001
Técnica quirúrgica				
Rives-Stoppa	867/1414 (61,3 %)	762/1231 (61,9 %)	105/183 (57,4 %)	0,002
Lateral	145/1414 (10,3 %)	137/1231 (11,1 %)	8/183 (4,4 %)	0,002
TAR	112/1414 (7,9 %)	94/1231 (7,6 %)	18/183 (9,8 %)	
Anterior	84/1414 (5,9 %)	65/1231 (5,3 %)	19/183 (10,4 %)	0,002
Medial-lateral	30/1414 (2,1 %)	26/1231 (2,1 %)	4/183 (2,2 %)	
Cierre primario	15/1414 (1,1 %)	12/1231 (1,0 %)	3/183 (1,6 %)	
Otros	144/1414 (10,2 %)	120/1231 (9,7 %)	24/183 (13,1 %)	
Tipo de cirugía				
Individual	856/1414 (60,5 %)	778/1231 (63,2 %)	78/183 (42,6 %)	<0,001
Conjunta	285/1414 (20,2 %)	235/1231 (19,1 %)	50/183 (27,3 %)	

* RIC: rango intercuartílico; IMC: índice de masa corporal; TAR: Transversus Abdominis Release o liberación del músculo transverso del abdomen.

Fuente: elaboración propia.

EN PRENSA

así como un IMC más alto (29,1 kg/m^2 frente a 28,3 kg/m^2; p=0,002) y un tiempo quirúrgico más prolongado (mediana de 3 horas, RIC: 2,5–3,5 frente a 2,58 horas, RIC: 2,25–3,0; p<0,001). El tabaquismo activo fue más frecuente en el grupo con ISO (12,6 % frente a 7,6 %; p=0,017), igual que las heridas contaminadas (15,8 % frente a 6,7 %; p<0,001).

Desempeño de CeDAR original y recalibración local

Al evaluar la capacidad predictiva de *CeDAR* en los 1403 pacientes con puntaje disponible, la incidencia observada de ISO fue del 13,0 %, mientras que el riesgo promedio predicho por la escala fue del 27,2 %, con una razón observado/esperado de 0,480 — es decir, *CeDAR* sobreestimó en aproximadamente el doble el riesgo absoluto de ISO en esta población (Tabla 3).

La capacidad discriminativa fue modesta, con un AUC de 0,609, un AUPRC de 0,184 y una puntuación de Brier de 0,145 (Figura 2). El intercepto de calibración fue de −1,464 y la pendiente de 0,427, lo que confirmó tanto la sobreestimación sistemática del riesgo como una dispersión excesiva de las probabilidades predichas. Como análisis complementario, el punto de corte *CeDAR* ≥25 %

Tabla 3. Comparación de estrategias predictivas

Modelo	n	Eventos	Observado	Predicho medio	O/E	AUC	AUPRC
CeDAR original	1403	183	13,0%	27,2%	0,480	0,609	0,184
CeDAR recalibrado	1403	183	13,0%	13,0%	1,002	0,605	0,183
CeDAR-plus no redundante, mínimo - VC	1414	183	12,9%	13,0%	0,996	0,597	0,176

***** AUC: intervalo de confianza del 95 % para el AUC; AUPRC: área bajo la curva de precisión-recall; VC: validación cruzada estratificada de cinco particiones; O/E: razón entre el riesgo observado y el riesgo promedio predicho; AUC: área bajo la curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*).

Fuente: elaboración propia.

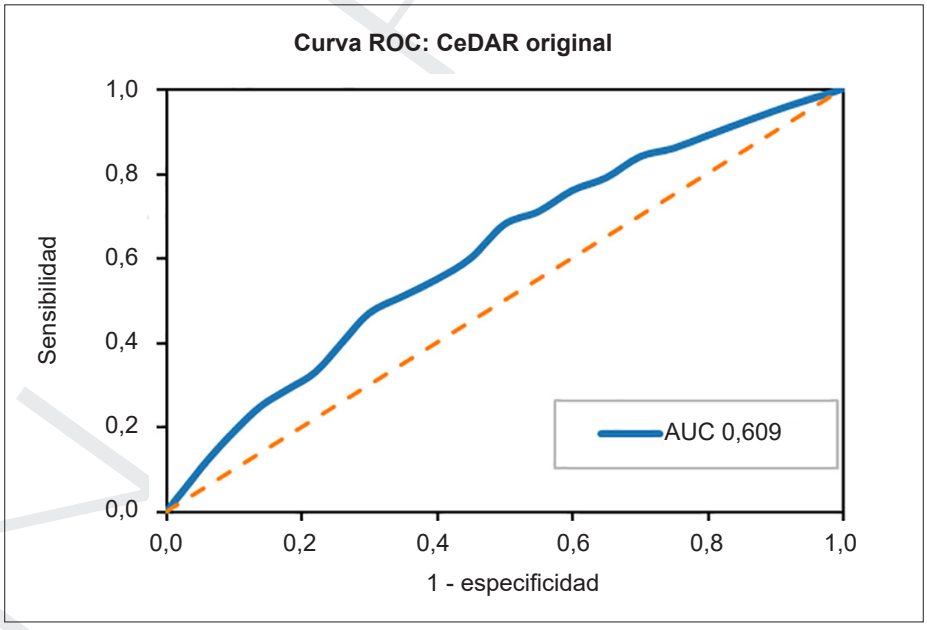


Figura 2. Curva ROC del modelo CeDAR original para la predicción de infección de sitio operatorio

* ROC: *Receiver Operating Characteristic;* AUC: área bajo la curva; CeDAR: *Carolinas Equation for Determining Associated Risks*.

Fuente: elaboración propia.

mostró una sensibilidad del 64,5 %, especificidad del 52,8 %, valor predictivo positivo del 17,0 % y valor predictivo negativo del 90,8 %.

La recalibración local corrigió esta sobreestimación: la probabilidad media predicha pasó a 13,0 %, prácticamente idéntica a la incidencia observada, con una razón observado/esperado de 1,002. Sin embargo, la discriminación permaneció prácticamente sin cambios (AUC 0,605; AUPRC 0,183) (Figura 3), lo que confirma que la recalibración mejora la correspondencia entre el riesgo predicho y el observado, pero no aumenta la capacidad del modelo para diferenciar entre quién desarrollará ISO y quién no.

Modelos locales y validación interna

En la validación cruzada, el modelo construido únicamente con los componentes o proxies de *CeDAR* (sin incluir el puntaje original) obtuvo un AUC de 0,613 y un AUPRC de 0,191. Los modelos *CeDAR-plus*, que incorporaron variables adicionales no redundantes con los componentes de la escala, tampoco mostraron una mejoría relevante: el modelo mínimo alcanzó un AUC validado de 0,597 y AUPRC de 0,176, mientras que el modelo extendido obtuvo un AUC de 0,603 y AUPRC de 0,179 (Figura 4).

Al comparar el desempeño aparente con el validado internamente, se evidenció un grado relevante de optimismo: el AUC del modelo local parsimonioso disminuyó de 0,653 en el análisis aparente a 0,612 tras la validación cruzada, y el del modelo *CeDAR-plus* extendido pasó de 0,636 a 0,603.

Modelo final recomendado y utilidad clínica en nuestra población

Como producto final del análisis, y considerando el contexto particular de la población atendida en esta institución, se presenta el modelo *CeDAR-plus* no redundante mínimo como la opción recomendada, ajustado sobre la totalidad de la

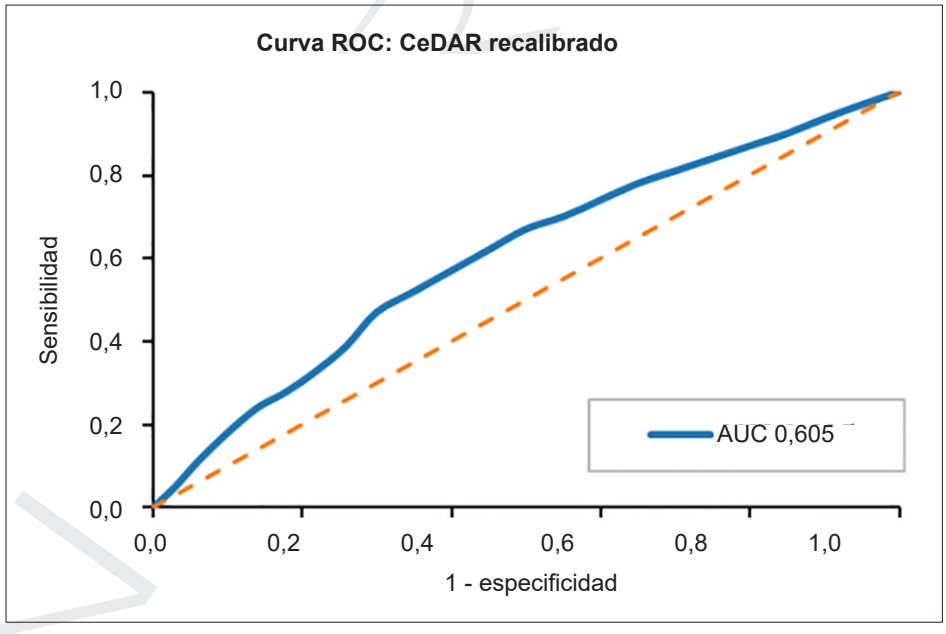


Figura 3. Curva ROC *CeDAR* recalibrado. Curva ROC correspondiente al modelo *CeDAR* tras la recalibración local.

* AUC: área bajo la curva; *CeDAR: Carolinas Equation for Determining Associated Risks*.

Fuente: elaboración propia.

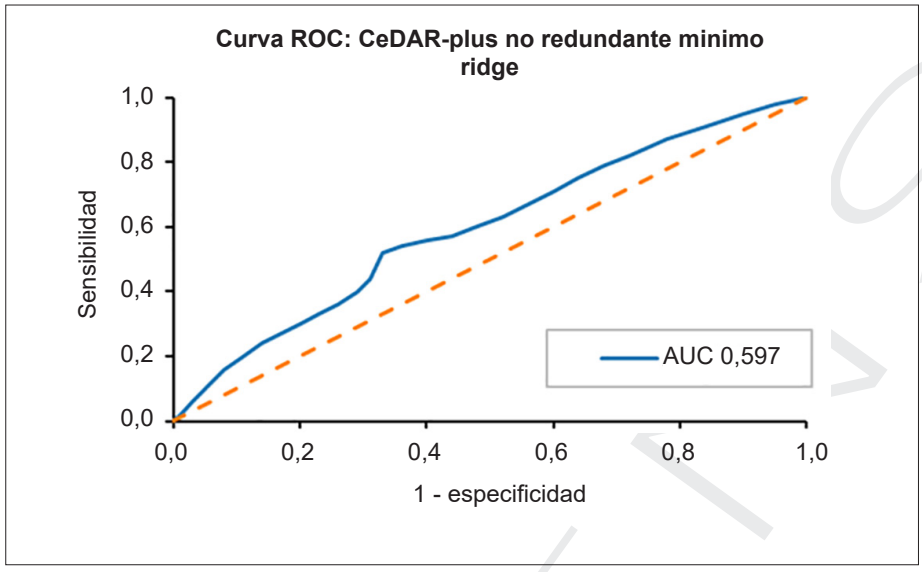


Figura 4. Curva ROC: *CeDAR-plus* no redundante mínimo.

* ROC*: Receiver Operating Characteristic;* AUC: área bajo la curva; *CeDAR: Carolinas Equation for Determining Associated Risks*.

Fuente: elaboración propia.

cohorte para fines de presentación. En cuanto a la capacidad predictiva de cada característica en el modelo, el puntaje *CeDAR* muestra el mayor potencial como predictor (coeficiente logit 0,355; OR aproximado 1,43), seguido por el sexo femenino (OR 1,11), la edad (OR 1,09 por año) y la carga de comorbilidades no relacionadas con diabetes (OR 1,05 por comorbilidad adicional). Estos coeficientes reflejan la contribución de cada variable a la capacidad predictiva del modelo y no deben interpretarse como estimaciones de efecto causal.

Las curvas de decisión clínica mostraron una utilidad práctica limitada y dependiente del umbral seleccionado, mientras que el riesgo promedio predicho por el modelo recalibrado se aproximó adecuadamente al riesgo observado en todo el rango de probabilidades evaluado (Figura 5). En conjunto, estos hallazgos respaldan el uso de *CeDAR* recalibrado, y de forma exploratoria, del modelo *CeDAR-plus* mínimo, como herramientas de apoyo para la estratificación del riesgo y la comunicación con el paciente, antes que como reglas autónomas de decisión quirúrgica.

Aunque el modelo basado en componentes o proxies de *CeDAR* presentó numéricamente el AUC más alto en la validación cruzada, las diferencias frente a *CeDAR* original y los demás modelos locales fueron pequeñas. Ninguna de las estrategias evaluadas logró una mejoría clínicamente relevante de la discriminación; la principal ganancia observada en este estudio fue la corrección de la sobreestimación del riesgo absoluto mediante la recalibración local de *CeDAR*, mientras que la discriminación y la utilidad clínica de todas las estrategias permanecieron limitadas.

Discusión

La reparación de hernia ventral continúa siendo un desafío en cirugía general por sus elevadas tasas de complicaciones del sitio operatorio, que en escenarios complejos oscila entre 30 % y 37 % e impactan directamente en la recurrencia y en los costos en salud [16].

En este contexto surgieron las escalas de estratificación del riesgo. El VHWG propuso una de las primeras, basada en comorbilidades y grado de

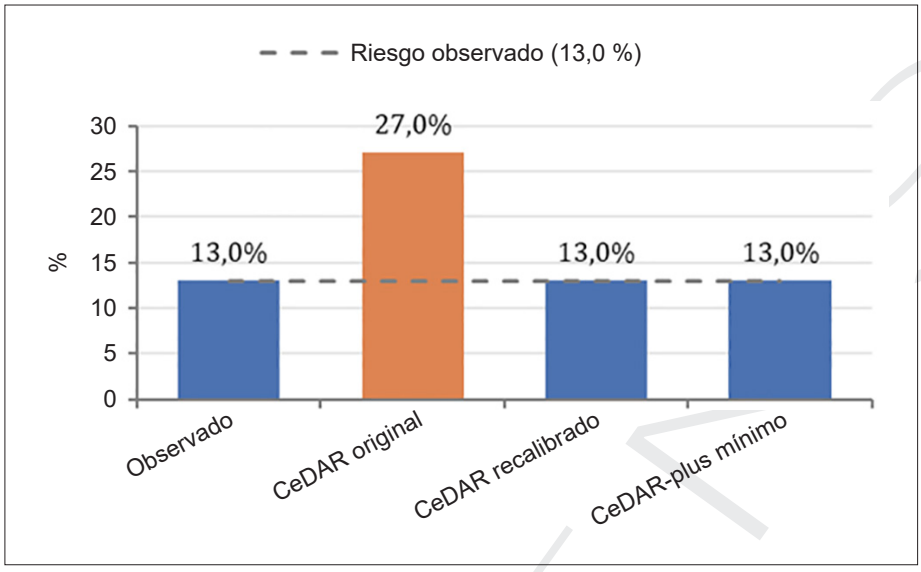


Figura 5. Riesgo observado frente a riesgo predicho promedio

* *CeDAR: Carolinas Equation for Determining Associated Risks*.

Fuente: elaboración propia.

contaminación, mostrando que el riesgo aumenta progresivamente con el grado de la hernia [15]; sin embargo, su capacidad predictiva ha sido cuestionada, pues las diferencias entre grupos no siempre alcanzan significancia estadística, lo que sugiere que los modelos basados solo en variables clínicas pueden ser insuficientes [15].

La escala *CeDAR* representó un avance al integrar variables del paciente y del procedimiento, diabetes no controlada, tabaquismo, índice de masa corporal, presencia de estoma y características intraoperatorias, e incorporar, a partir del *International Hernia Mesh Registry (IHMR)*, una dimensión económica en la decisión quirúrgica [17,18]. Su uso prospectivo se ha asociado incluso con una reducción de complicaciones de la herida (40,8 % frente a 20,6 %), atribuida a la optimización preoperatoria de factores modificables [15]. No obstante, no se encontró que hubiera sido validada en Colombia, por lo que no se conocía si sus estimaciones eran aplicables en nuestro medio.

En nuestra cohorte institucional de reconstrucción de pared abdominal, *CeDAR* mostró una capacidad discriminativa modesta para predecir la infección del sitio operatorio (AUC 0,609), con sobreestimación sistemática del riesgo absoluto (razón observado/esperado 0,480; riesgo predicho promedio 27,2 % frente a una incidencia observada de 13,0 %). Hasta donde conocemos, este es uno de los primeros trabajos que valida y recalibra la escala en población latinoamericana. La recalibración logística local corrigió por completo el desajuste, llevando la razón observado/esperado prácticamente a la unidad, sin modificar la discriminación, que permaneció estable (AUC 0,605). Esta disociación entre discriminación preservada y calibración degradada es uno de los hallazgos más consistentes en la validación externa de modelos predictivos [19,20]. Un algoritmo trasladado a una población con menor prevalencia tiende a generar predicciones demasiado extremas, sobreestimando el riesgo en los pacientes de mayor riesgo, exactamente el comportamiento que refleja la baja pendiente de calibración de *CeDAR* [21]. La recalibración no mejora el AUC porque no altera el orden de las predicciones; solo ajusta su nivel y dispersión.

Que la discriminación se mantuviera modesta pese al reajuste sugiere una limitación intrínseca del conjunto de predictores. Este patrón no se restringe al contexto donde se desarrolló la escala: una cohorte de un centro asistencial no halló relación significativa entre el riesgo estimado por *CeDAR* y las complicaciones de la herida [16], y una validación comparativa reciente en dos centros de Rumanía mostró que *CeDAR*, junto con las escalas del VHWG, no predijo de forma fiable los eventos de sitio quirúrgico, en especial en cohortes de baja incidencia [17]. Ello concuerda con los conceptos de que los calculadores de riesgo no siempre predicen con exactitud los eventos de la herida [14] y que los instrumentos centrados en factores del paciente omiten variables hernia-específicas con peso pronóstico, tamaño del defecto, contaminación, comorbilidades, que influyen de forma independiente en los desenlaces [22,23]. En nuestra serie, ninguno de los modelos locales, incluidas las variantes *CeDAR-plus* con edad, sexo y carga de comorbilidades, superó de forma clínicamente significativa a la versión recalibrada, lo que indica que el techo de desempeño está determinado por la información disponible y no por la estrategia de modelamiento.

Desde una perspectiva aplicada, *CeDAR* no debería emplearse para comunicar riesgos absolutos en nuestra población sin recalibración previa: su tendencia a sobreestimar podría llevar a desaconsejar o postergar una intervención en un paciente realmente de bajo riesgo, o a generar ansiedad injustificada en la consejería. Un modelo mal calibrado puede, no obstante, conservar utilidad clínica [20], y el análisis de curva de decisión confirmó que las estrategias recalibradas aportan beneficio neto en el rango de umbrales clínicamente plausibles. La recomendación es local y pragmática: usar la versión recalibrada como herramienta institucional de consejería, reconociendo que su valor radica en corregir el riesgo absoluto más que en discriminar.

Entre las limitaciones de este estudio, su carácter retrospectivo y de un solo centro restringe la transportabilidad de los modelos, y el número de eventos disponibles limita la estabilidad de los modelos locales, que además se evaluaron por validación cruzada interna y no en una cohorte externa, por lo que su desempeño real podría ser menor. Con todo, este trabajo aporta una recalibración local de *CeDAR* en nuestro medio y ofrece una herramienta de consejería ajustada al riesgo real de la población atendida.

Conclusiones

En esta cohorte colombiana de reconstrucción de pared abdominal, la escala *CeDAR* mostró una capacidad discriminativa modesta y una sobreestimación sistemática del riesgo de infección de sitio operatorio. La recalibración local corrigió esta sobreestimación y alineó las probabilidades predichas con la incidencia observada, sin mejorar la discriminación. Estos resultados confirman que *CeDAR*, en su forma original, no es directamente trasladable a nuestra población, pero que su versión recalibrada constituye una herramienta útil para la consejería preoperatoria institucional. La complejidad multifactorial de las complicaciones en la reparación de hernia ventral implica que ninguna escala explica por sí sola el riesgo; el valor de estas herramientas radica en orientar la estratificación y la optimización preoperatoria, no en sustituir el juicio clínico.

Cumplimiento de normas éticas

Consentimiento informado: Según la Resolución 008430 de 1993 por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud en Colombia, el presente estudio se considera sin riesgo. Este estudio se realizó siguiendo un protocolo de investigación aprobado por el Comité de investigación de la Clínica CES. Este artículo no contiene información personal que permita identificar alguno de los pacientes.

Conflictos de interés: Los autores manifestaron no presentar conflictos de interés.

Uso de Inteligencia Artificial: Se utilizaron herramientas basadas en Inteligencia Artificial (IA) generativa exclusivamente como apoyo en la edición de estilo del manuscrito. Los autores revisaron y editaron el contenido resultante y asumen plena responsabilidad por el contenido de la publicación.

Fuentes de financiación: Financiado por los autores.

EN PRENSA

Contribución de los autores

- Concepción y diseño del estudio: Pedro Zapata-Uribe, Carlos Andrés Calle-Lotero, Faber Albeiro Machado-Rivera, Hugo Tolosa-Pérez, Alejandro Madrigal-Montoya, Salomón Manzur-Arango, Hernán Camilo Luna-Hurtado, Federico López-Uribe, Felipe Zapata-Uribe.

- Adquisición de datos: Pedro Zapata-Uribe, Carlos Andrés Calle-Lotero, Faber Albeiro Machado-Rivera, Hugo Tolosa-Pérez, Alejandro Madrigal-Montoya, Salomón Manzur-Arango, Hernán Camilo Luna-Hurtado, Federico López-Uribe, Felipe Zapata-Uribe.

- Redacción del manuscrito: Pedro Zapata-Uribe, Carlos Andrés Calle-Lotero, Faber Albeiro Machado-Rivera, Hugo Tolosa-Pérez, Alejandro Madrigal-Montoya, Salomón Manzur-Arango, Hernán Camilo Luna-Hurtado, Federico López-Uribe, Felipe Zapata-Uribe.

- Revisión crítica: Pedro Zapata-Uribe, Carlos Andrés Calle-Lotero, Faber Albeiro Machado-Rivera, Hugo Tolosa-Pérez, Alejandro Madrigal-Montoya, Salomón Manzur-Arango, Hernán Camilo Luna-Hurtado, Federico López-Uribe, Felipe Zapata-Uribe.

Referencias

1 Muysoms FE, Miserez M, Berrevoet F, Campanelli G, Champault GG, Chelala E, et al. Classification of primary and incisional abdominal wall hernias. Hernia. 2009;13:407-14. https://doi.org/10.1007/s10029-009-0518-x

2 Ferguson DH, Smith CG, Olufajo OA, Zeineddin A, Williams M. Risk factors associated with adverse outcomes after ventral hernia repair with component separation. J Surg Res. 2021;258:299-306. https://doi.org/10.1016/j.jss.2020.08.063

3 Sanders DL, Pawlak MM, Simons MP, Aufenacker T, Balla A, Berger C, et al. Midline incisional hernia guidelines: The European Hernia Society. Br J Surg. 2023;110:1732-68. https://doi.org/10.1093/bjs/znad284

4 Henriksen NA, Bougard H, Gonçalves MR, Hope W, Khare R, Shao J, et al. Primary ventral and incisional hernias: Comprehensive review. BJS Open. 2024;9:zrae145. https://doi.org/10.1093/bjsopen/zrae145

5 Giovannini SC, Podda M, Ribas S, Montori G, Botteri E, Agresta F, et al. What defines an incisional hernia as 'complex': Results from a Delphi consensus endorsed by the European Hernia Society (EHS). Br J Surg. 2024;111:znad346. https://doi.org/10.1093/bjs/znad346

6 Centers for Disease Control and Prevention, National Healthcare Safety Network. Surgical site infection (SSI) event. Atlanta: CDC; 2024. Fecha de consulta: Junio de 2026. Disponible en: https://www.cdc.gov/nhsn/pdfs/pscmanual/9pscssicurrent.pdf

7 Daes J, Telem D. The principled approach to ventral hernia repair. Rev Colomb Cir. 2019;34:25-8. https://doi.org/10.30944/20117582.94

8 Cox TC, Huntington CR, Blair LJ, Prasad T, Lincourt AE, Heniford BT, et al. Predictive modeling for chronic pain after ventral hernia repair. Am J Surg. 2016;212:501-10. https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2016.02.021

9 Deerenberg EB, Henriksen NA, Antoniou GA, Antoniou SA, Bramer WM, Fischer JP, et al. Updated guideline for closure of abdominal wall incisions from the European and American Hernia Societies. Br J Surg. 2022;109:1239-50. https://doi.org/10.1093/bjs/znac302

10 Dunne JR, Malone DL, Tracy JK, Napolitano LM. Abdominal wall hernias: Risk factors for infection and resource utilization. J Surg Res. 2003;111:78-84. https://doi.org/10.1016/s0022-4804(03)00077-5

11 Wilson RB, Farooque Y. Risks and prevention of surgical site infection after hernia mesh repair and the predictive utility of ACS-NSQIP. J Gastrointest Surg. 2022;26:950-64. https://doi.org/10.1007/s11605-022-05248-6

12 He L, Wang X, Fan G, Zhao Y. Hernia mesh infection treatment following the repair of abdominal wall hernias: A single-center experience. Front Surg. 2022;9:993855. https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.993855

13 Petro CC, Prabhu AS, Majumder A, Anderson JM, Zender C. An in vivo analysis of Miromesh — a novel non-cross-linked decellularized porcine liver prosthetic. J Am Coll Surg. 2015;221:S65. https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2015.07.143

14 Ventral Hernia Outcome Collaborative; Mitchell TO, Holihan JL, Askenasy EP, Greenberg JA, Keith JN, Martindale RG, et al. Do risk calculators accurately predict surgical site occurrences? J Surg Res. 2016;203:56-63. https://doi.org/10.1016/j.jss.2016.03.040

15 Otero J, Cox TC, Huntington CR, Prasad T, Davis BR, Kasten KR, et al. Development of the Carolinas Equation for Determining Associated Risks application and its effects on patient outcomes and potential financial savings in open ventral hernia repair. J Am Coll Surg. 2018;227:S98. https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2018.07.199

16 Fligor JE, Lanier ST, Dumanian GA. Current risk stratification systems are not generalizable across surgical technique in midline ventral hernia repair. Plast Reconstr Surg Glob Open. 2017;5:e1206. https://doi.org/10.1097/GOX.0000000000001206

17 Talpai T, Râmboiu DS, Pîrvu CA, Pantea S, Şelaru M, Cârţu D, et al. A comparison of open ventral hernia

EN PRENSA

repair risk stratification systems: A call for consensus. J Clin Med. 2024;13:6692. https://doi.org/10.3390/jcm13226692

18 Riley RD, Archer L, Snell KIE, Ensor J, Dhiman P, Martin GP, et al. Evaluation of clinical prediction models (part 2): How to undertake an external validation study. BMJ. 2024;384:e074820. https://doi.org/10.1136/bmj-2023-074820

19 Collins GS, Dhiman P, Ma J, Schlussel MM, Archer L, van Calster B, et al. Evaluation of clinical prediction models (part 1): From development to external validation. BMJ. 2024;384:e074819. https://doi.org/10.1136/bmj-2023-074819

20 van Calster B, McLernon DJ, van Smeden M, Wynants L, Steyerberg EW. Calibration: The Achilles heel of predictive analytics. BMC Med. 2019;17:230. https://doi.org/10.1186/s12916-019-1466-7

21 Augenstein VA, Colavita PD, Wormer BA, Walters AL, Bradley JF, Lincourt AE, et al. CeDAR: Carolinas Equation for Determining Associated Risks. J Am Coll Surg. 2015;221(4 Suppl):S65-6. https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2015.07.145

22 Lindmark M, Strigård K, Löwenmark T, Dahlstrand U, Gunnarsson U. Risk factors for surgical complications in ventral hernia repair. World J Surg. 2018;42:3528-36. https://doi.org/10.1007/s00268-018-4642-6

23 Kanters AE, Krpata DM, Blatnik JA, Novitsky YM, Rosen MJ. Modified hernia grading scale to stratify surgical site occurrence after open ventral hernia repairs. J Am Coll Surg. 2012;215:787-93. https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2012.08.012

EN PRENSA