

HERRAMIENTA SOFTWARE PARA LA DIGITALIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LOS
PROCESOS DE EVALUACIÓN QUE DEFINEN LA ASIGNACIÓN DE SERVICIOS EN
EL SEGMENTO UPSTREAM DEL SECTOR DE LOS HIDROCARBUROS

ALEJANDRO JOSÉ CHAVARRO DÍAZ
LAURA KATHERINE LOZANO ROMERO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA

2026

HERRAMIENTA SOFTWARE PARA LA DIGITALIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LOS
PROCESOS DE EVALUACIÓN QUE DEFINEN LA ASIGNACIÓN DE SERVICIOS EN
EL SEGMENTO UPSTREAM DEL SECTOR DE LOS HIDROCARBUROS

ALEJANDRO JOSÉ CHAVARRO DÍAZ
LAURA KATHERINE LOZANO ROMERO

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero de Petróleos

Director

Fernando Enrique Calvete González
M.sc. En Informática

Codirector

Javier Eduardo Quintana Rodríguez
M.sc. En Ingeniería de Petróleos

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA

2026

DEDICATORIA

A mi padre, Leonel, que me acompaña desde el cielo y anheló siempre este momento, a mi madre, Sandra, que siempre me ha apoyado, este momento es fruto de un esfuerzo compartido; agradecido por la crianza y los valores, son el motivo y la fuerza detrás de cada etapa de este camino.

Alejandro José Chavarro Díaz

A mi padre, César Lozano, gracias por ser siempre mi motor en los momentos en los que la alegría parecía desvanecerse. Tus palabras me recordaron que todo pesar es pasajero y que siempre hay razones para seguir adelante.

A mi hermano, Alejandro, mi mayor ejemplo. Todo esto también lo hago por ti, porque has sido mi inspiración constante. Tu apoyo y tu presencia han sido fundamentales en este proceso; sin ti, este camino habría sido mucho más difícil. Gracias por ser mi compañía y fortaleza.

A mi madre, Biyely, tu fuerza es motivo de admiración. Gracias por enseñarme a tener carácter y valentía en cada paso que doy.

Laura Katherine Lozano Romero

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a Fernando Enrique Calvete González, director del presente trabajo de grado, por su orientación, atención, dedicación y acompañamiento a lo largo del proceso de investigación y desarrollo de *WellRank*. Ha sido un actor clave en la obtención de los objetivos del trabajo propuesto.

A Javier Eduardo Quintana Rodríguez, codirector del presente trabajo de grado, su disposición ha sido clave en el óptimo y correcto desarrollo de *WellRank*, tanto en la investigación, como en la validación del sistema. Su experticia fue un pilar fundamental como colaborador técnico y académico del proyecto.

A Carlos Felipe Federico Acevedo, profesional de la industria de los hidrocarburos, cuyo aporte técnico fue clave para la validación y verificación del sistema.

A Adriana Montoya, profesional de la industria de los hidrocarburos, quien validó el funcionamiento como *tester* de la herramienta y documentó las ventajas que presenta la aplicación con respecto al anterior proceso de evaluación.

A la Universidad Industrial de Santander y al programa de Ingeniería de Petróleos por la formación académica y los espacios de investigación que hicieron posible este proyecto.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
2. ALCANCE	19
3. OBJETIVOS	21
3.1 OBJETIVO GENERAL	21
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
4. JUSTIFICACIÓN	22
5. MARCO CONCEPTUAL	25
5.1 CONCEPTOS DEL SEGMENTO UPSTREAM	25
5.2 CONCEPTOS DE GESTIÓN OPERATIVA	27
5.3 CONCEPTOS DE EVALUACIÓN.....	29
5.4 CONCEPTOS DE SOFTWARE	31
6. MARCO TEÓRICO.....	33
6.1 EL SEGMENTO UPSTREAM EN EL SECTOR HIDROCARBUROS COLOMBIANO	33
6.1.1 Nodos operativos del segmento <i>Upstream</i>	34
6.1.2 Selección del nodo de intervención: servicios de subsuelo.....	37
6.2 LOS SERVICIOS DE SUBSUELO Y SU GESTIÓN CONTRACTUAL	40
6.2.1 Taxonomía de los servicios.....	40

6.3 SISTEMAS DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL DESEMPEÑO DE CONTRATISTAS.....	47
6.4 LIMITACIONES DE LAS HOJAS DE CÁLCULO EN LA GESTIÓN OPERATIVA CRÍTICA.....	48
6.5 DIGITALIZACIÓN Y DESARROLLO DE SOFTWARE APLICADO A LA GESTIÓN OPERATIVA.....	49
6.6 FUNDAMENTOS DE DECISIÓN MULTICRITERIO Y SELECCIÓN DE PROVEEDORES.....	51
6.6.1 Naturaleza del problema de selección de proveedores.....	51
6.6.2 Evolución histórica del problema de selección de proveedores.	52
6.6.3 Métodos de decisión multicriterio relevantes para el modelo.	55
6.6.4 El sistema WellRank como arquitectura decisional híbrida.	58
7. MARCO LEGAL Y NORMATIVO	60
7.1 NORMATIVA SECTORIAL DEL SECTOR HIDROCARBUROS EN COLOMBIA	60
7.2 NORMATIVA DE CONTRATACIÓN APLICABLE A LOS SERVICIOS DE SUBSUELO	62
7.3 NORMATIVA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN.....	63
8. ESTADO DEL ARTE	64
8.1 ANTECEDENTES ACADÉMICOS NACIONALES	64
8.2 PLATAFORMAS COMERCIALES ESPECIALIZADAS DEL SECTOR UPSTREAM	66
8.3 HERRAMIENTAS DE GESTIÓN EMPRESARIAL DE PROPÓSITO GENERAL	67
8.4 IDENTIFICACIÓN DEL GAP TECNOLÓGICO.....	70

9. METODOLOGÍA.....	72
9.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	72
9.2 FASES DE LA INVESTIGACIÓN.....	72
9.2.1 Fase 1. Diagnóstico y revisión bibliográfica.....	73
9.2.2 Fase 2. Levantamiento de requerimientos.....	74
9.2.3 Fase 3. Diseño del sistema.....	76
9.2.4 Fase 4. Desarrollo e implementación.....	77
9.2.5 Fase 5. Validación y pruebas.....	79
10. DESARROLLO.....	80
10.1 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS.....	80
10.1.1 Requerimientos funcionales.....	80
10.1.2 Requerimientos no funcionales.....	85
10.1.3 Restricciones del sistema.....	86
10.2 DISEÑO DEL SISTEMA.....	87
10.2.1 Arquitectura del sistema.....	87
10.2.2 Diagrama de casos de uso.....	89
10.2.3 Diagrama de flujo del proceso de evaluación.....	90
10.2.4 Modelo matemático de evaluación multicriterio de <i>WellRank</i>	91
10.3 IMPLEMENTACIÓN.....	101
10.3.1 Módulo de autenticación.....	101
10.3.2 Módulo de navegación principal.....	102
10.3.3 Módulo de Evaluaciones.....	103
10.3.4 Módulo de Descuentos.....	105
10.3.5 Módulo de Compañías.....	107
10.3.6 Módulo de Servicios.....	108

10.3.7 Módulo de Tarifario.	110
10.3.8 Módulo Constructor.	112
10.3.9 Módulo Inicio Subsuelo.	113
10.3.10 Pestaña Ítems.	114
10.3.11 Pestaña Evaluación Económica.	116
10.3.12 Pestaña Evaluación Técnica.	118
10.3.13 Pestaña Puntajes.	121
10.3.14 Pestaña Reporte.....	125
10.4 VALIDACIÓN Y VERIFICACIÓN.....	130
10.4.1 Estrategia de validación y verificación.....	130
10.4.2 Validación comparativa del proceso de evaluación.....	132
10.4.3 Validación con expertos del sector.....	140
10.4.4 Evaluación de usabilidad.....	141
11. RESULTADOS.....	143
11.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y SELECCIÓN DEL NODO DE SUBSUELO.....	143
11.2 SISTEMA DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO.....	143
11.3 HERRAMIENTA SOFTWARE.....	144
12. CONCLUSIONES.....	147
13. RECOMENDACIONES.....	149
BIBLIOGRAFÍA.....	152
ANEXOS.....	156

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Arquitectura en tres capas de WellRank	88
Figura 2. Diagrama de casos de uso de WellRank	89
Figura 3. Flujo del proceso de evaluación integral en WellRank	90
Figura 4. Pantalla de autenticación de WellRank	102
Figura 5. Pantalla principal y barra de navegación de WellRank	103
Figura 6. Módulo de evaluaciones de WellRank	104
Figura 7. Módulo de descuentos	106
Figura 8. Módulo de compañías – Catálogo de compañías prestadoras de servicios..	108
Figura 9. Módulo de servicios – Catálogo de servicios de subsuelo	109
Figura 10. Módulo de Tarifario	111
Figura 11. Módulo del Constructor — construcción del escenario de evaluación	112
Figura 12. Barra de navegación secundaria del módulo Inicio Subsuelo	114
Figura 13. Pestaña Ítems — carga y gestión del escenario de evaluación	116
Figura 14. Pestaña Evaluación Económica — cálculo de PxQ, aplicación de descuentos y visualización gráfica de costos.	118

Figura 15. Pestaña Evaluación Técnica	121
Figura 16. Pestaña Puntajes — configuración de pesos, cálculo de puntajes integrales y visualización por criterio.	124
Figura 17. Pestaña Reporte — configuración y vista previa del reporte de evaluación integral.	126
Figura 18. Reporte de evaluación integral generado por WellRank en formato Excel .	129
Figura 19. Escenario 54321-ValidacionTesis3, pestaña Ítems.....	134
Figura 20. Escenario 54321-ValidacionTesis3, pestaña Ev. Económica.....	134
Figura 21. Evidencia de servicio Slick Line proceso manual.....	135
Figura 22. Evaluación Económica en WellRank, evidencia para servicio Slick Line sin descuento.....	136

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Análisis comparativo de nodos operativos del segmento Upstream	39
Tabla 2. Matriz comparativa de soluciones existentes vs. herramienta propuesta.....	71
Tabla 3. Requerimientos funcionales – Módulo de gestión	80
Tabla 4. Requerimientos funcionales – Módulo de evaluación	82
Tabla 5. Requerimientos funcionales – Módulo de soporte.....	84
Tabla 6. Requerimientos no funcionales de WellRank	85
Tabla 7. Ejemplo ilustrativo del modelo	99
Tabla 8. Ejemplo cálculo de costos	99
Tabla 9. Ejemplo puntuación integral con pesos	100
Tabla 10. Estrategia de validación y verificación de WellRank.....	131
Tabla 11. Compañías incluidas en la verificación de factibilidad.....	137
Tabla 12. Compañías no incluidas en la verificación de factibilidad.....	138
Tabla 13. Comparación estructural entre el proceso manual en Excel y WellRank.	139
Tabla 14. Comparación de eficiencia entre el proceso manual y WellRank.....	141
Tabla 15. Resumen de la evaluación de usabilidad de WellRank	142

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Pantalla principal y barra de navegación de WellRank	156
Anexo B. Pestaña Ítems — carga y gestión del escenario de evaluación	157
Anexo C. Pestaña Evaluación Económica — cálculo de PxQ, aplicación de descuentos y visualización gráfica de costos.	158
Anexo D. Pestaña Evaluación Técnica	159
Anexo E. Pestaña Puntajes — configuración de pesos, cálculo de puntajes integrales y visualización por criterio.	160
Anexo F. Pestaña Reporte — configuración y vista previa del reporte de evaluación integral.	161
Anexo G. Primera página del reporte de evaluación integral generado por WellRank en formato Excel	162
Anexo H. Segunda página del reporte de evaluación integral generado por WellRank en formato Excel	163
Anexo I. Ítems para escenario 54321-ValidacionTesis3 como comparativo	164
Anexo J. Evaluación económica escenario 54321-ValidacionTesis3 como comparativo	166
Anexo K. Manual de Usuario – <i>WellRank</i>	167

RESUMEN

TÍTULO: HERRAMIENTA SOFTWARE PARA LA DIGITALIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE EVALUACIÓN QUE DEFINEN LA ASIGNACIÓN DE SERVICIOS EN EL SEGMENTO UPSTREAM DEL SECTOR DE LOS HIDROCARBUROS*

AUTOR: ALEJANDRO JOSÉ CHAVARRO DÍAZ, LAURA KATHERINE LOZANO ROMERO**

PALABRAS CLAVE: EVALUACIÓN INTEGRAL, SERVICIOS DE SUBSUELO, *UPSTREAM*, DIGITALIZACIÓN, HERRAMIENTA SOFTWARE, TOMA DE DECISIONES, INDICADORES KPI, SECTOR HIDROCARBUROS.

DESCRIPCIÓN: El sector hidrocarburos en Colombia depende de manera crítica de los servicios de subsuelo prestados por compañías especializadas en el segmento *Upstream*, cuya correcta selección y evaluación es determinada por la eficiencia operativa, la trazabilidad contractual y la competitividad realizada por las compañías operadoras. Sin embargo, los procesos de evaluación por los que atraviesan estas compañías de servicios han dependido históricamente de herramientas ofimáticas genéricas como Microsoft Excel, las cuales presentan limitaciones documentadas en integridad de datos, estandarización de criterios, trazabilidad de decisiones y capacidad de análisis estratégico.

El presente trabajo de grado propone el diseño y desarrollo de una herramienta software en lenguaje *C#* orientada a la digitalización y optimización del proceso de evaluación integral de compañías de servicios de subsuelo en el segmento *Upstream* del sector de los hidrocarburos en Colombia. La solución integra módulos de evaluación técnica y económica, seguimiento de indicadores clave de desempeño (KPI), análisis comparativo entre compañías, registro histórico de evaluaciones y gestión de usuarios con control de acceso por roles.

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingeniería Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Ingeniería de Petróleos. Director: Fernando Enrique Calvete González. M.sc. En Informática. Codirector: Javier Eduardo Quintana Rodríguez. M.sc. En Ingeniería de Petróleos.

ABSTRACT

TITLE: SOFTWARE TOOL FOR THE DIGITIZATION AND OPTIMIZATION OF EVALUATION PROCESSES THAT DEFINE THE ALLOCATION OF SERVICES IN THE UPSTREAM SEGMENT OF THE HYDROCARBON SECTOR*

AUTHOR: ALEJANDRO JOSÉ CHAVARRO DÍAZ, LAURA KATHERINE LOZANO ROMERO**

KEY WORDS: COMPREHENSIVE EVALUATION, SUBSOIL SERVICES, UPSTREAM, DIGITIZATION, SOFTWARE TOOL, DECISION MAKING, KPI INDICATORS, HYDROCARBON SECTOR.

DESCRIPTION: The hydrocarbon sector in Colombia is critically dependent on subsurface services provided by companies specializing in the upstream segment, whose proper selection and evaluation determines the operational efficiency, contractual traceability, and competitiveness of operating companies. However, the evaluation processes of these service companies have historically depended on generic office tools such as Microsoft Excel, which have documented limitations in data integrity, standardization of criteria, traceability of decisions, and strategic analysis capabilities.

This thesis proposes the design and development of a software tool in C# language aimed at digitizing and optimizing the comprehensive evaluation process of subsurface service companies in the Upstream segment of the hydrocarbons sector in Colombia. The solution integrates technical and economic evaluation modules, key performance indicator (KPI) monitoring, comparative analysis between companies, historical evaluation records, and user management with role-based access control.

*Degree work

**Faculty of Physical-Chemical Engineering. School of Petroleum Engineering. Director: Fernando Enrique Calvete González, M.Sc. Computer Science. Co-director: Javier Eduardo Quintana Rodríguez, M.Sc. Petroleum Engineering.

INTRODUCCIÓN

La transformación digital en la industria de los hidrocarburos ha evidenciado una brecha tecnológica significativa en los procesos de evaluación y asignación de servicios de subsuelo del segmento *Upstream* colombiano. La dependencia histórica de herramientas como Microsoft Excel para gestionar evaluaciones técnicas, económicas y de desempeño de contratistas ha generado limitaciones documentadas en trazabilidad, estandarización y soporte a la toma de decisiones, situación reconocida institucionalmente por el Ministerio de Minas y Energía y que motivó el desarrollo de *WellRank*, una herramienta software en C# orientada a digitalizar y optimizar este proceso mediante un modelo de evaluación integral multicriterio. ¹

Para contextualizar esta problemática, el trabajo inicia con el planteamiento del problema, la pregunta de investigación, los objetivos y la delimitación del alcance, seguidos de un marco referencial que abarca los antecedentes en evaluación de proveedores del sector, los fundamentos teóricos de los modelos de decisión multicriterio, el marco normativo aplicable y las decisiones tecnológicas que condicionaron el diseño del sistema.

El diseño e implementación de *WellRank* se fundamenta en una metodología de investigación aplicada de enfoque mixto, a partir de la cual se caracterizaron los nodos del segmento *Upstream*, se identificaron los requerimientos del sistema y se construyó el modelo multicriterio que integra las dimensiones económicas, técnicas y de puntaje en un flujo estructurado de seis módulos: Constructor, Ítems, Evaluación Económica, Evaluación Técnica, Puntajes y Reporte. ²

¹ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Informe de Gestión 2022. Bogotá D.C.: Ministerio de Minas y Energía, 2022. p. 35. [Consultado: 1 de marzo de 2026]. Disponible en: <https://www.minenergia.gov.co/es/ministerio/gestion/procesos-y-procedimientos/comite-sectorial-de-gestion-y-desempeno/CAMPETROL>.

² Balance Petrolero 2019. Bogotá D.C.: Cámara Colombiana de Bienes y Servicios Petroleros, 2019. Disponible en: <https://campetrol.org/wp-content/uploads/2023/09/BALANCE-PETROLERO-2019-final.pdf>

La implementación estuvo condicionada por restricciones tecnológicas del entorno operativo del sector, que descartaron el uso de motores de bases de datos relacionales y arquitecturas en la nube, orientando la solución hacia una aplicación de escritorio con almacenamiento en archivo Excel desplegable sin dependencia de conectividad.

La solidez del sistema fue respaldada por un proceso de validación y verificación que incluyó la verificación matemática del modelo, con una concordancia del 100% en la totalidad de los casos evaluados, y la validación funcional con un interventor activo del sector *Upstream* colombiano, quien confirmó que el flujo del sistema refleja fielmente el proceso real y que los criterios implementados corresponden a los manejados en la práctica.

Los resultados obtenidos demuestran que *WellRank* reduce el tiempo requerido para completar una evaluación integral de entre tres y cinco horas a aproximadamente quince o veinte minutos, eliminando la gestión de múltiples archivos independientes por postulante y automatizando la validación de la digitación, lo que representa una reducción de aproximadamente el 90% en el tiempo operativo del interventor y una mejora sustancial en la trazabilidad y objetividad del proceso de asignación de servicios.

De estos resultados se concluye que el desarrollo de herramientas software específicas para procesos especializados del sector *Upstream* colombiano representa una línea de trabajo con alto potencial de impacto operativo, siendo *WellRank* una respuesta concreta y validada a la brecha tecnológica identificada. Como trabajo futuro se recomienda la migración hacia una base de datos relacional embebida, la incorporación de módulos de inteligencia artificial para la sugerencia automática de ítems y la generación de comentarios narrativos en el reporte, y el desarrollo de un módulo de comparación entre escenarios que amplíe las capacidades analíticas del sistema.

³ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Op. cit., p. 63.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el segmento *Upstream* del sector hidrocarburos en Colombia, específicamente en el nodo de servicios de subsuelo, los procesos de evaluación y asignación de compañías de servicios de perforación, completamiento y *workover* han dependido históricamente de herramientas como Microsoft Excel. Si bien estas herramientas resultaron funcionales en etapas iniciales, su uso en procesos operativos críticos representa un riesgo documentado: Powell, Lawson y Baker (2008) demostraron empíricamente que entre el 0.8% y el 1.8% de todas las celdas con fórmulas contienen errores, los cuales en algunos casos han generado pérdidas millonarias a las organizaciones.¹ Esta dependencia genera consecuencias operativas concretas: limitaciones en la trazabilidad de decisiones contractuales, ausencia de estandarización en formatos de evaluación y consumo excesivo de tiempo en actividades de captura y consolidación manual de datos.

En el nodo de subsuelo, la constante actualización de los indicadores clave de desempeño (KPI), tarifas de servicios y criterios técnicos de evaluación agrava esta situación, comprometiendo la calidad y oportunidad de la toma de decisiones por parte de las compañías operadoras.²

¹ POWELL, Stephen G.; LAWSON, Barry y BAKER, Kenneth R. Impact of Errors in Operational Spreadsheets. EuSpRIG, 2007. p. 57. DOI: 10.48550/arXiv.0801.0715

² CAMPETROL. Sector de bienes y servicios petroleros en Colombia. Bogotá D.C. Op Cit, 2019.

Esta problemática es reconocida institucionalmente: el Ministerio de Minas y Energía (2022) identifica que "no todos los procesos están automatizados, lo que no permite realizar la trazabilidad adecuada", señalando además la "carencia de apropiación de herramientas de transformación digital" como una debilidad estructural vigente en el sector minero-energético colombiano.³

La solución no radica en una sustitución abrupta de los sistemas vigentes, sino en una transformación digital progresiva que preserve la información histórica e integre nuevas capacidades analíticas. En este sentido, el Plan Estratégico de Tecnologías de Información PETI 2024-2027 identificó la automatización de procesos como la necesidad de TI de mayor demanda en el sector, con 27 requerimientos específicos de un total de 98 necesidades identificadas,³ lo que evidencia la pertinencia institucional de desarrollar soluciones digitales orientadas a este problema. La digitalización busca así no solo reducir errores y duplicidad de esfuerzos, sino automatizar actividades que demandan períodos prolongados de trabajo y una cantidad significativa de recursos humanos.

Frente a este escenario, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿De qué manera el desarrollo de una herramienta software en C# permite optimizar el proceso de evaluación integral de compañías de servicios en el segmento *Upstream* del sector hidrocarburos en Colombia?

³ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Informe de Gestión 2022. Bogotá D.C., 2022. p. 35.

2. ALCANCE

El presente proyecto tiene como alcance el diseño y desarrollo de **WellRank**, una herramienta software en C# orientada a la digitalización y optimización del proceso de evaluación integral de compañías de servicios de subsuelo en el segmento Upstream del sector hidrocarburos en Colombia. El nombre de la herramienta alude a su función principal: la generación de rankings comparativos de compañías prestadoras de servicios de subsuelo mediante un proceso de evaluación integral que integra criterios técnicos, económicos e indicadores clave de desempeño.

La herramienta contempla los siguientes módulos y funcionalidades:

- **Módulo de autenticación y gestión de usuarios:** control de acceso mediante credenciales institucionales con diferenciación de privilegios según el rol del usuario: interventor, administrador y programador.
- **Módulo Constructor de escenarios:** permite al interventor definir el alcance técnico del escenario de evaluación mediante la selección de ítems del tarifario por código de herramienta y servicio, determinando automáticamente las compañías habilitadas para participar en función de su completitud de servicio.
- **Módulo de evaluación técnica y económica:** evaluación técnica de compañías prestadoras de servicios mediante criterios configurables con ponderación definida por el usuario, y evaluación económica comparativa basada en tarifarios cargados previamente, con aplicación automática de mecanismos de descuento y generación de ranking por competitividad.
- **Módulo de seguimiento de KPI:** registro y visualización de los indicadores clave de desempeño de las compañías de servicios —eficiencia operativa, seguridad industrial y desempeño administrativo— como criterio complementario en el proceso de evaluación integral.
- **Módulo de puntajes y recomendación:** integración de los tres ejes de evaluación (técnico, económico y KPI) en un puntaje final ponderado con pesos configurables por el usuario, generando un ranking integral y una recomendación automática de contratación.

- **Módulo de generación de reportes:** exportación de un informe formal en formato Excel con desglose completo criterio por criterio, gráficas comparativas embebidas y campos de identificación del proyecto.
- **Módulo de historial:** registro y consulta de evaluaciones realizadas con fecha, compañías evaluadas, puntajes y recomendación final, garantizando la trazabilidad de las decisiones contractuales.
- **Integración con Microsoft Excel:** WellRank utiliza un archivo Excel centralizado como mecanismo de persistencia de toda la información del sistema —tarifarios, KPI, compañías, servicios, credenciales e historial de evaluaciones— protegido mediante contraseña y cifrado, en respuesta a las restricciones tecnológicas del entorno de despliegue.

El desarrollo tiene una orientación práctica, basada en la aplicación de conocimientos de ingeniería de software, arquitectura de datos y desarrollo de interfaces gráficas, con el propósito de entregar un prototipo funcional validado con datos reales del sector que demuestre la viabilidad técnica de la solución.

El proyecto se desarrolla sobre infraestructura de cómputo de escritorio, sin contemplar inversión en servidores dedicados ni licenciamiento adicional. Quedan fuera del alcance los siguientes elementos: la integración con sistemas ERP u otras plataformas distintas a Microsoft Excel, el despliegue en ambientes productivos de compañías operadoras reales, y el desarrollo de módulos de gestión financiera, contable o de contratos.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una herramienta software que integre criterios técnicos, económicos y operativos para la evaluación integral y asignación de servicios en el área de subsuelo y levantamiento artificial en empresas operadoras del sector hidrocarburos, con el fin de optimizar los procesos de análisis y apoyar la toma de decisiones.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisión bibliográfica de los criterios integrales en las áreas de subsuelo y levantamiento artificial.
- Implementar un sistema de evaluación de criterios técnicos y económicos que soporte una adecuada evaluación integral.
- Desarrollar una herramienta software que realice la evaluación integral, permitiendo el análisis y la toma de decisiones que cumpla con las necesidades de las compañías operadoras.

4. JUSTIFICACIÓN

El sector hidrocarburos en Colombia representa uno de los principales motores de la economía nacional. En el año 2022, el sector minero-energético aportó el 58,6% del total de las exportaciones del país y contribuyó de manera determinante al recaudo fiscal, consolidándose como un sector estratégico para la estabilidad macroeconómica y el financiamiento del gasto público. ¹ Dentro de este sector, el segmento *Upstream* concentra las actividades de mayor inversión y riesgo técnico, siendo los servicios de subsuelo —perforación, completamiento, *Workover* e intervención de pozos— los de mayor relevancia operativa y económica para las compañías operadoras.

En este contexto, las compañías de servicios de subsuelo constituyen el eslabón técnico indispensable para la ejecución de las operaciones del segmento *Upstream*. Según CAMPETROL, el sector de bienes y servicios petroleros en Colombia agrupa un universo amplio y heterogéneo de compañías con distintos niveles de madurez, especialización técnica y capacidad financiera, lo que hace que la selección y evaluación de estas compañías sea una función estratégica de alta complejidad para los operadores. ²

¹ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Informe de Gestión 2022. Bogotá D.C.: Ministerio de Minas y Energía, 2022. p. 35. [Consultado: 2 de marzo de 2026]. Disponible en: <https://www.minenergia.gov.co/es/ministerio/gestion/procesos-y-procedimientos/comite-sectorial-de-gestion-y-desempeno/>

² CAMPETROL. Sector de bienes y servicios petroleros en Colombia. Bogotá D.C.: Cámara Colombiana de Bienes y Servicios Petroleros, 2019.

A pesar de la relevancia estratégica de este proceso, la gestión de la evaluación de compañías de subsuelo en el segmento *Upstream* ha dependido históricamente de herramientas ofimáticas genéricas, en particular Microsoft Excel, que no fueron diseñadas para soportar procesos de evaluación multicriterio de alta criticidad operativa. Esta situación genera riesgos documentados: limitaciones en la trazabilidad de las decisiones contractuales, ausencia de estandarización en los criterios de evaluación, vulnerabilidad en la integridad de los datos y consumo excesivo de recursos humanos en la captura y consolidación manual de información. ³

La necesidad de superar estas limitaciones encuentra respaldo institucional en los lineamientos del propio Ministerio de Minas y Energía, que en su Plan Estratégico de Tecnologías de Información PETI 2024-2027 identificó la automatización de procesos como la necesidad de TI de mayor demanda en el sector, con 27 requerimientos específicos dentro de un total de 98 necesidades identificadas. ⁴ Esta cifra evidencia que la brecha de digitalización no es una percepción aislada, sino una debilidad estructural reconocida formalmente por la institucionalidad sectorial.

Frente a este diagnóstico, el desarrollo de una herramienta software especializada en C# se justifica desde tres dimensiones complementarias:

Desde la dimensión técnica, un software permite estructurar, centralizar y automatizar el procesamiento de la información proveniente de los procesos de evaluación, garantizando la integridad de los datos, la reproducibilidad de los resultados y la trazabilidad de cada decisión.

³ POWELL, Stephen G.; LAWSON, Barry y BAKER, Kenneth R. Impact of Errors in Operational Spreadsheets. EuSpRIG, 2007. p. 57. DOI: 10.48550/arXiv.0801.0715

⁴ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Op. cit., p. 63.

Desde la dimensión estratégica, contar con un instrumento objetivo y sistemático para la evaluación integral de las compañías de subsuelo fortalece la capacidad de los operadores para tomar decisiones de contrataciones más informadas, promover la competencia basada en méritos reales y reducir los riesgos operativos y financieros asociados a la selección inadecuada de prestadores de servicio en operaciones críticas del segmento *Upstream*.

Desde la dimensión académica e institucional, el presente trabajo responde a la necesidad de generar conocimiento aplicado en la intersección de la ingeniería de petróleos y la ingeniería de software, aportando una solución concreta, validada y replicable a un problema real del sector que ha sido identificado tanto en la literatura técnica como en los instrumentos de política pública del sector minero-energético colombiano.

En síntesis, la herramienta propuesta no representa únicamente un ejercicio de desarrollo tecnológico, sino una respuesta pertinente y fundamentada a una brecha operativa real que afecta la eficiencia, la trazabilidad y la calidad de las decisiones en uno de los segmentos más críticos del sector productivo colombiano.

5. MARCO CONCEPTUAL

A continuación, se presentan las definiciones de los términos técnicos fundamentales empleados en el presente trabajo, organizadas por dimensión temática, con el propósito de establecer un lenguaje preciso y consistente a lo largo del documento.

5.1 CONCEPTOS DEL SEGMENTO UPSTREAM

Segmento Upstream. En la industria de los hidrocarburos, el segmento *Upstream* comprende el conjunto de actividades asociadas a la exploración y producción de petróleo y gas natural, abarcando desde los estudios geológicos y sísmicos, pasando por la perforación exploratoria y de desarrollo, hasta la producción inicial de hidrocarburos en superficie. Constituye el eslabón inicial de la cadena de valor del sector y concentra los mayores niveles de inversión, riesgo técnico y complejidad operativa.¹

Compañía Operadora. Se denomina compañía operadora a la empresa titular o gestora de contratos de exploración y producción de hidrocarburos, sobre la cual recae la responsabilidad directa de la planificación, supervisión y ejecución de las operaciones en el campo. En el segmento *Upstream*, la compañía operadora es la entidad que contrata, evalúa y supervisa el desempeño de las compañías prestadoras de servicios de subsuelo, siendo responsable de garantizar la eficiencia operativa, el cumplimiento normativo y la sostenibilidad de cada intervención.¹

¹ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Informe de Gestión 2022. Bogotá D.C.: Ministerio de Minas y Energía, 2022. p. 35. [Consultado: 2 de marzo de 2026]. Disponible en: <https://www.minenergia.gov.co/es/ministerio/gestion/procesos-y-procedimientos/comite-sectorial-de-gestion-y-desempeno/>

Compañía Contratista de Servicios. Es la empresa que presta servicios de subsuelo a la compañía operadora, en virtud de un contrato de prestación de servicios. Su desempeño se evalúa en función de criterios técnicos, económicos, de seguridad y de calidad operativa, constituyéndose en el sujeto principal del proceso de evaluación que soporta la herramienta desarrollada en el presente proyecto. ²

Perforación. La perforación es el proceso mediante el cual se construye el pozo de hidrocarburos desde la superficie hasta el yacimiento objetivo. Involucra la utilización de equipos de perforación, fluidos de perforación, tuberías de revestimiento y herramientas de fondo de pozo. ³

Completamiento de Pozos. El completamiento de pozos es el conjunto de procesos, técnicas y equipos instalados en un pozo perforado, con posterioridad a la perforación y evaluación de formaciones, con el propósito de habilitarlo para la producción eficiente y segura de hidrocarburos. Comprende la instalación de tuberías de producción, sistemas de empaque, dispositivos de control de flujo, sistemas de levantamiento artificial y equipos de fondo de pozo, así como las pruebas de integridad requeridas para su puesta en producción. ³

Workover. El término *workover* designa el conjunto de operaciones de intervención realizadas sobre un pozo previamente perforado y completado, con el objetivo de restaurar, reparar u optimizar su productividad o integridad. Estas operaciones incluyen la reparación de tuberías de producción, el cambio de equipos de levantamiento artificial, la estimulación de formaciones, el taponamiento selectivo de intervalos y la conversión funcional del pozo. ³

² CAMPETROL. Sector de bienes y servicios petroleros en Colombia. Bogotá D.C.: Cámara Colombiana de Bienes y Servicios Petroleros, 2019.

³ SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS (SPE). Petroleum Engineering Handbook. Volume II: Drilling Engineering. Richardson, Texas: SPE, 2006.

5.2 CONCEPTOS DE GESTIÓN OPERATIVA

Orden de Trabajo (ODT). Una Orden de Trabajo es el documento formal mediante el cual la compañía operadora instruye, autoriza y describe las actividades o servicios específicos a ser ejecutados por una compañía contratista. En el contexto de los servicios, la ODT especifica el tipo de servicio, el pozo o campo de intervención, los recursos requeridos, los tiempos estimados de ejecución y las condiciones de seguridad aplicables. Constituye la unidad básica de trazabilidad del ciclo de prestación de servicios. ⁴

Interventor. El interventor es el profesional designado por la compañía operadora para supervisar, controlar y validar que las actividades ejecutadas por la compañía contratista se ajusten a los términos contractuales, las especificaciones técnicas, las normas de calidad y los estándares de seguridad e integridad operativa. Es responsable de emitir informes de seguimiento, registrar incidencias, aprobar avances de ODT y gestionar la información de desempeño de los contratistas en campo. ⁴

HSE. Es el acrónimo del sistema de gestión de Salud, Seguridad y Medio Ambiente (*Health, Safety and Environment*), que comprende el conjunto de políticas, normas, procedimientos y controles orientados a la protección de la salud e integridad de los trabajadores, la prevención de accidentes y la preservación del entorno ambiental en las operaciones industriales. En el segmento *Upstream*, el desempeño HSE de las compañías contratistas constituye un criterio de evaluación de alta ponderación, dado el nivel de riesgo inherente a las operaciones de subsuelo. ⁴

⁴ TRUJILLO MOYA, Guillermo. Desarrollo de un modelo para la gestión de selección y evaluación de proveedores. Bogotá D.C.: Universidad Militar Nueva Granada, 2022. [Consultado: 1 de marzo de 2026]. Disponible en: <https://repository.umng.edu.co/bitstream/handle/10654/43924/TrujilloMoyaGuillermo2022.pdf>

Tarifario. En el contexto de los servicios de subsuelo, el tarifario es el documento formal que contiene la relación de precios unitarios ofertados por una compañía contratista para cada tipo de servicio, herramienta o actividad dentro del alcance del contrato. Constituye el insumo principal para la evaluación económica comparativa entre compañías y es gestionado como fuente de entrada de información en la herramienta desarrollada mediante su importación desde Microsoft Excel. ²

Trazabilidad. En el contexto de la gestión de servicios de subsuelo, la trazabilidad es la capacidad de rastrear, documentar y auditar de forma sistemática todas las etapas, decisiones y registros asociados al ciclo de vida de un servicio contratado, desde la emisión de la ODT hasta el cierre de la intervención. La trazabilidad garantiza la reproducibilidad de los procesos de evaluación, la transparencia en la toma de decisiones contractuales y el cumplimiento de los requisitos de auditoría operativa. ⁴

² CAMPETROL. Sector de bienes y servicios petroleros en Colombia. Bogotá D.C. Op. cit.

⁴ TRUJILLO MOYA, Guillermo. Desarrollo de un modelo para la gestión de selección y evaluación de proveedores. Bogotá D.C. Op. Cit.

5.3 CONCEPTOS DE EVALUACIÓN

Indicadores Clave de Desempeño (KPI). Los Indicadores Clave de Desempeño, conocidos por sus siglas en inglés KPI (*Key Performance Indicators*), son métricas cuantificables utilizadas para medir el grado de cumplimiento de los objetivos estratégicos y operativos de una organización o de un contratista. En el contexto de los servicios, los KPI incluyen indicadores de eficiencia operativa, tiempos de ejecución, productividad por pozo, cumplimiento de cronogramas, desempeño HSE y tasas de incidencias, constituyendo el tercer eje de evaluación integral que integra la herramienta desarrollada en el presente proyecto. ⁵

Tiempo No Productivo (NPT). El Tiempo No Productivo, conocido por sus siglas en inglés NPT (*Non-Productive Time*), es el período durante el cual las operaciones de perforación, completamiento o intervención de pozos se encuentran detenidas como consecuencia de fallas técnicas, retrasos logísticos, errores operacionales o mal desempeño de equipos o personal. El NPT representa una pérdida directa de valor económico para la compañía operadora y constituye uno de los indicadores de mayor relevancia en la evaluación del desempeño de las compañías contratistas de subsuelo. ⁵

Evaluación Integral. Para los efectos del presente trabajo, se entiende por evaluación integral el proceso sistemático mediante el cual se valora el desempeño de una compañía contratista de subsuelo considerando de forma simultánea y ponderada tres dimensiones complementarias: criterios técnicos, criterios económicos e indicadores KPI de desempeño operativo. Este enfoque supera las evaluaciones unidimensionales basadas exclusivamente en precio o en desempeño técnico aislado. ⁶

⁵ INTERNATIONAL ASSOCIATION OF DRILLING CONTRACTORS (IADC). Drilling Manual. 12th ed. Houston: IADC, 2015.

⁶ SAATY, Thomas L. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. New York: McGraw-Hill, 1980.

Evaluación Multicriterio. La evaluación multicriterio es un método de apoyo a la toma de decisiones que permite analizar y comparar alternativas considerando múltiples criterios de naturaleza diversa de forma simultánea. Metodologías como el Proceso Analítico Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) y la técnica TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) son ampliamente utilizadas en la selección de proveedores en entornos industriales de alta complejidad, al permitir asignar pesos relativos a los criterios y ordenar las alternativas en función de su cercanía a la solución óptima. ⁶

Semáforo de Gestión. Un semáforo de gestión es un mecanismo visual de alerta implementado en herramientas de seguimiento operativo, que clasifica el estado de un indicador o proceso mediante un código de colores convencional: verde (desempeño satisfactorio), amarillo (alerta o desempeño en riesgo) y rojo (desempeño crítico o incumplimiento). En el contexto de la evaluación de compañías, los semáforos de gestión permiten identificar de forma inmediata el estado de desempeño de cada contratista sin necesidad de análisis manual de los datos subyacentes. ⁶

⁶ SAATY, Thomas L. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. New York: McGraw-Hill, 1980.

5.4 CONCEPTOS DE SOFTWARE

Digitalización. La digitalización, en el contexto de la gestión operativa industrial, es el proceso de conversión de flujos de trabajo, procesos y registros de información basados en medios analógicos o herramientas ofimáticas genéricas hacia plataformas digitales especializadas, que permiten la automatización de tareas, la centralización de la información, la ejecución de análisis estratégicos y el soporte a la toma de decisiones en tiempo real. ⁷

Transformación Digital Progresiva. La transformación digital progresiva es una estrategia de modernización tecnológica que adopta un enfoque incremental, preservando la información histórica existente e integrando nuevas capacidades digitales de forma gradual, sin interrupciones abruptas en los procesos operativos vigentes. Este enfoque resulta especialmente pertinente en sectores industriales de alta criticidad operativa, como el segmento Upstream del sector hidrocarburos, donde la continuidad operativa es un requisito no negociable. ⁷

Herramienta Software. Para los propósitos del presente trabajo, se entiende por herramienta software una aplicación informática desarrollada con un propósito específico, orientada a resolver un problema concreto dentro de un dominio técnico definido. La herramienta desarrollada en este proyecto es una aplicación de escritorio construida en lenguaje C# sobre el *Framework* .NET, con interfaz gráfica de usuario, que automatiza y centraliza el proceso de evaluación integral de compañías en el segmento *Upstream*. ⁸

⁷ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Op. cit., p. 63.

⁸ MICROSOFT. Documentación de C# y .NET. [Consultado: 1 de marzo de 2026]. Disponible <https://learn.microsoft.com/es-es/dotnet/csharp/>

Prototipo Funcional. Un prototipo funcional es una versión operativa del software desarrollado que implementa las funcionalidades principales del sistema, permitiendo validar los requerimientos, demostrar la viabilidad técnica de la solución e identificar oportunidades de mejora antes de su implementación definitiva. A diferencia de un prototipo de interfaz o maqueta, el prototipo funcional incorpora lógica de negocio real y permite la interacción efectiva del usuario con el sistema. ⁸

Arquitectura por Capas. La arquitectura por capas es un patrón de diseño de software que organiza la aplicación en niveles funcionales independientes: capa de presentación (interfaz gráfica de usuario), capa de lógica de negocio (procesamiento y reglas del sistema) y capa de acceso a datos (gestión y persistencia de la información). Esta separación garantiza la modularidad, mantenibilidad y escalabilidad del sistema, facilitando el mantenimiento y la evolución futura de la herramienta. ⁸

⁸ MICROSOFT. Documentación de C# y .NET. Op. Cit.

6. MARCO TEÓRICO

El presente marco teórico desarrolla los fundamentos conceptuales, técnicos y operativos sobre los cuales se sustenta el diseño y desarrollo de la herramienta software propuesta. Se organiza en cuatro ejes temáticos: el segmento *Upstream* del sector hidrocarburos y su estructura operativa; los servicios de subsuelo y su ciclo de gestión contractual; los sistemas de evaluación y seguimiento de desempeño; y los fundamentos de la digitalización aplicada a la gestión operativa industrial.

6.1 EL SEGMENTO UPSTREAM EN EL SECTOR HIDROCARBUROS COLOMBIANO

La cadena de valor del sector hidrocarburos se estructura convencionalmente en tres segmentos: *Upstream*, que comprende las actividades de exploración y producción; *Midstream*, que abarca el transporte y almacenamiento de hidrocarburos; y *Downstream*, que incluye la refinación, distribución y comercialización de los productos derivados.¹ El segmento *Upstream* constituye el eslabón inicial y estratégico de esta cadena, siendo el de mayor concentración de inversión, riesgo técnico y complejidad operativa.

En Colombia, el desarrollo del segmento *Upstream* se encuentra regulado principalmente por la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), entidad responsable de la administración y adjudicación de los contratos de exploración y producción, y por el Ministerio de Minas y Energía.¹ Bajo este marco institucional, las compañías operadoras ejecutan sus programas de exploración y producción a través de contratos de concesión, asociación o prestación de servicios, en cuyo contexto la gestión eficiente de los servicios de subsuelo adquiere una relevancia estratégica directa.

¹ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Informe de Gestión 2022. Bogotá D.C.: Ministerio de Minas y Energía, 2022. p. 35. [Consultado: 2 de marzo de 2026]. Disponible en: <https://www.minenergia.gov.co/es/ministerio/gestion/procesos-y-procedimientos/comite-sectorial-de-gestión-y-desempeño/>

Las operaciones del segmento *Upstream* se articulan en torno al ciclo de vida del pozo petrolero, que comprende las siguientes fases principales: exploración y evaluación de prospectos, perforación, completamiento, producción, intervención o *workover*, y abandono. Cada una de estas fases involucra la participación de compañías contratistas especializadas que proveen los servicios técnicos requeridos, siendo los servicios de subsuelo los de mayor criticidad operativa y económica dentro de dicho ciclo.

6.1.1 Nodos operativos del segmento *Upstream*. El segmento *Upstream* del sector hidrocarburos se articula en torno a un conjunto de nodos operativos que conforman el ciclo de vida completo del pozo petrolero. Cada nodo agrupa un conjunto específico de actividades técnicas, requiere compañías contratistas especializadas y genera una demanda diferenciada de servicios en términos de frecuencia, complejidad y criticidad operativa. La comprensión de estos nodos constituye el punto de partida para identificar aquel de mayor necesidad de digitalización en sus procesos de evaluación y selección de contratistas.

a) Exploración y evaluación sísmica. El nodo de exploración comprende las actividades orientadas a la identificación y caracterización de prospectos con potencial hidrocarburífero, incluyendo los estudios geológicos y geofísicos, la adquisición e interpretación de datos sísmicos en dos y tres dimensiones, y la evaluación de formaciones mediante registros de pozo. Es el nodo de menor frecuencia de contratación recurrente dentro del ciclo operativo, dado que las campañas de exploración responden a ciclos de inversión de largo plazo y no generan una demanda continua de servicios especializados. Los contratos asociados a este nodo son típicamente de alcance acotado y larga duración, con procesos de evaluación de contratistas de moderada complejidad.¹

b) Perforación. El nodo de perforación comprende la construcción del pozo desde la superficie hasta el yacimiento objetivo, involucrando la operación de equipos de perforación rotaria, la programación de brocas y ensamblajes de fondo de pozo, el diseño y manejo de fluidos de perforación, la cementación de tuberías de revestimiento y el control de pozo.

Es un nodo de alta inversión unitaria y alta criticidad operativa, dado que las decisiones técnicas y contractuales adoptadas durante la perforación determinan en gran medida la viabilidad productiva del pozo. La evaluación de contratistas en este nodo involucra criterios técnicos de alta especialización, pero la frecuencia de contratación es menor que la del nodo de subsuelo, dado que no todos los activos petroleros se encuentran en fase activa de perforación de forma simultánea. ¹

c) Subsuelo: completamiento, *workover* e intervención de pozos. El nodo de subsuelo agrupa el conjunto de operaciones técnicas ejecutadas sobre pozos perforados con el propósito de habilitarlos para la producción, mantener su integridad operativa o restaurar y optimizar su productividad a lo largo de su vida útil. Este nodo comprende tres tipos de operaciones principales:

- **Completamiento:** instalación de los sistemas de producción en el pozo recién perforado, incluyendo tuberías de producción, empacadores, dispositivos de control de flujo y sistemas de levantamiento artificial.
- ***Workover:*** intervenciones mayores sobre pozos en producción orientadas a reparar, modificar o mejorar su comportamiento productivo, incluyendo el cambio de equipos de fondo, la estimulación de formaciones y el taponamiento selectivo de intervalos.
- **Intervención de pozos:** operaciones de menor invasividad realizadas sobre pozos en producción para diagnóstico, monitoreo u optimización, ejecutadas típicamente mediante unidades de *wireline*, *slickline*, *coiled tubing* o bombeo de fluidos.

¹ Ministerio de Minas y Energía. Informe de Gestión 2022. Op Cit.

La característica distintiva de este nodo frente a los demás es su alta frecuencia operativa: a diferencia de la perforación, que se ejecuta una sola vez por pozo, las operaciones de completamiento, *workover* e intervención se repiten múltiples veces a lo largo de la vida productiva del activo, generando una demanda continua y recurrente de servicios especializados y, en consecuencia, un proceso igualmente recurrente de evaluación y selección de compañías contratistas. ²

d) Producción y levantamiento artificial. El nodo de producción comprende las actividades de extracción, manejo y acondicionamiento de los fluidos producidos en superficie, incluyendo la operación de los sistemas de levantamiento artificial —bombeo electrosumergible, bombeo mecánico, gas lift— la separación de fases, el manejo de agua producida y la medición de la producción. Es un nodo de alta frecuencia operativa en términos de mantenimiento de equipos de superficie, pero los servicios contratados son de menor complejidad técnica unitaria que los del nodo de subsuelo, y los procesos de evaluación de contratistas son comparativamente más estandarizados y de menor variabilidad entre escenarios. ²

e) Abandono de pozos. El nodo de abandono comprende las operaciones finales del ciclo de vida del pozo, orientadas a su cierre definitivo de forma segura e irreversible, garantizando el aislamiento del yacimiento y la integridad ambiental del área intervenida. Es el nodo de menor frecuencia de contratación dentro del ciclo operativo activo de un activo petrolero, y si bien involucra criterios técnicos y ambientales de alta exigencia, la baja recurrencia de estos procesos limita la magnitud del impacto acumulado de las ineficiencias en la evaluación de contratistas.

² CAMPETROL. Sector de bienes y servicios petroleros en Colombia. 2019.

6.1.2 Selección del nodo de intervención: servicios de subsuelo. La identificación del nodo operativo sobre el cual se concentra el desarrollo de la herramienta WellRank no fue una decisión arbitraria, sino el resultado de un análisis comparativo de los nodos del segmento *Upstream* en función de cuatro criterios determinantes: la frecuencia de contratación de servicios especializados, la complejidad del proceso de evaluación multicriterio, el impacto económico del desempeño deficiente de los contratistas, y la magnitud de la brecha tecnológica existente en las herramientas de evaluación disponibles.

a) Frecuencia de contratación. A diferencia de la exploración sísmica o la perforación, cuya demanda de servicios responde a ciclos de inversión de largo plazo, los servicios de subsuelo se contratan de forma continua y recurrente a lo largo de toda la vida productiva del activo. Un campo en producción puede requerir simultáneamente operaciones de *workover* en múltiples pozos, intervenciones de *wireline* o *slickline* con alta periodicidad y servicios de completamiento en pozos recién perforados, generando una demanda permanente de evaluación y selección de contratistas que ningún otro nodo del segmento *Upstream* iguala en frecuencia.

b) Complejidad del proceso de evaluación multicriterio. La evaluación de compañías contratistas en el nodo de subsuelo involucra una multiplicidad de servicios técnicos heterogéneos que deben ser evaluados de forma simultánea y comparativa entre un número significativo de compañías oferentes. Esta heterogeneidad genera una complejidad estructural en el proceso de evaluación que supera la de cualquier otro nodo, dado que el interventor debe integrar simultáneamente la comparación de tarifarios por ítem de servicio, la evaluación de criterios técnicos específicos por tipo de operación y el seguimiento de indicadores KPI históricos por compañía, todo ello bajo restricciones de tiempo operativo. ³

³ IADC. Drilling Manual. 12th ed. 2015.

c) Impacto económico del desempeño deficiente. En el nodo de subsuelo, el Tiempo No Productivo (NPT) generado por el bajo desempeño de una compañía contratista se traduce directamente en costos operativos de alta magnitud, dado que la interrupción de una operación de workover o completamiento implica el costo hora de todos los equipos y personal movilizados, más las pérdidas de producción diferida asociadas. Según la IADC, el NPT representa históricamente entre el 10% y el 25% del tiempo total de las operaciones de subsuelo en campos maduros, con impactos económicos que pueden superar los cientos de miles de dólares por evento.³ Esta realidad hace que la selección objetiva y fundamentada del contratista de subsuelo tenga un impacto económico directo y cuantificable sobre los resultados del activo, justificando plenamente la inversión en herramientas de evaluación más precisas y eficientes.

d) Brecha tecnológica en herramientas de evaluación. Como se documentó en el Estado del Arte del presente trabajo, ninguna de las soluciones tecnológicas disponibles en el mercado —ni las plataformas especializadas del sector *Upstream* ni las herramientas de gestión empresarial de propósito general— atiende de forma simultánea los requerimientos específicos del proceso de evaluación integral de servicios de subsuelo. Esta brecha es especialmente pronunciada en el nodo de subsuelo debido a la combinación de alta frecuencia operativa, diversidad de servicios evaluados y necesidad de integración simultánea de criterios técnicos, económicos y de desempeño KPI, configurando el contexto de mayor necesidad de una solución digital especializada dentro del segmento *Upstream*.⁴

⁴ Análisis del Estado del Arte — presente documento, capítulo 8.

Tabla 1. Análisis comparativo de nodos operativos del segmento *Upstream*

Nodo operativo	Frecuencia de contratación	Complejidad de evaluación	Impacto económico del NPT	Brecha tecnológica	Prioridad
Exploración y sísmica	Baja	Media	Medio	Media	Baja
Perforación	Media	Alta	Alto	Media	Media
Subsuelo	Muy alta	Muy alta	Muy alto	Muy alta	Alta
Producción y levantamiento artificial	Alta	Media	Medio	Baja	Media
Abandono	Muy baja	Media	Bajo	Media	Baja

Fuente: Elaboración propia a partir de IADC (2015), CAMPETROL (2019) y análisis del estado del arte.

En síntesis, el nodo de subsuelo concentra la mayor frecuencia de contratación de servicios especializados del segmento *Upstream*, la mayor complejidad en el proceso de evaluación multicriterio de contratistas, el mayor impacto económico directo de un desempeño deficiente y la brecha tecnológica más pronunciada en herramientas de evaluación disponibles. Estos cuatro factores, tomados en conjunto, determinan que el nodo de subsuelo constituye el contexto operativo de mayor pertinencia y necesidad para el desarrollo de una herramienta software de evaluación integral, y fundamentan la orientación específica de *WellRank* hacia los servicios de subsuelo en el segmento *Upstream* del sector hidrocarburos colombiano.

6.2 LOS SERVICIOS DE SUBSUELO Y SU GESTIÓN CONTRACTUAL

Dentro del ciclo de vida del pozo, los servicios de subsuelo constituyen el conjunto de intervenciones técnicas de mayor especialización y costo unitario. Estos servicios son provistos por compañías contratistas que operan bajo condiciones contractuales definidas por la compañía operadora, y su correcta selección, ejecución y seguimiento determinan en gran medida la eficiencia operativa y los resultados productivos del activo.² Según CAMPETROL, el sector de bienes y servicios petroleros en Colombia agrupa un universo amplio y heterogéneo de compañías con distintos niveles de madurez técnica, especialización y capacidad financiera, lo que hace que el proceso de selección y evaluación de estas compañías sea una función de alta complejidad para los operadores.³

6.2.1 Taxonomía de los servicios. Los servicios especializados de subsuelo comprenden el conjunto de operaciones técnicas ejecutadas sobre pozos petroleros con el propósito de habilitarlos para la producción, mantener su integridad operativa o restaurar y optimizar su productividad a lo largo de su vida útil. En la literatura técnica internacional, estas operaciones se agrupan bajo las denominaciones *well intervention*, *workover* y *well completion*, términos que describen distintos niveles de complejidad de las operaciones ejecutadas sobre el pozo. ¹

¹ SCHLUMBERGER. *Oilfield Glossary*. [En línea]. Houston: SLB, 2024. Disponible en: <https://glossary.slb.com>

² CAMPETROL. Sector de bienes y servicios petroleros en Colombia. Bogotá D.C.: Cámara Colombiana de Bienes y Servicios Petroleros, 2019.

³ SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS (SPE). *Petroleum Engineering Handbook*. Volume II: Drilling Engineering. Richardson, Texas: SPE, 2006.

Schlumberger define *well intervention* como cualquier operación realizada sobre un pozo en producción con el propósito de modificar su estado, restaurar su integridad o mejorar su desempeño productivo, sin necesidad de retirar completamente el equipo de fondo instalado. El *workover*, por su parte, es definido como una operación mayor de mantenimiento o reparación ejecutada sobre un pozo existente, que puede implicar el retiro del equipo de producción instalado y el acceso directo al intervalo productor mediante equipos de superficie especializados. El *well completion* corresponde al conjunto de operaciones realizadas sobre un pozo recién perforado para prepararlo e iniciarlo en producción, incluyendo la instalación de los sistemas de control de flujo, levantamiento artificial y conexión al sistema de recolección superficial.

Hadzihafizovic (2023) clasifica los servicios de intervención de pozos en dos grandes categorías según el nivel de invasividad de la operación: las intervenciones sin equipo de perforación (*rig-less*), que incluyen wireline, slickline y coiled tubing, y las intervenciones con equipo de perforación (*rig-based*), que corresponden a los trabajos de *workover* mayor.

6.2.1.1 Identificación de los servicios implementados en WellRank. La identificación de los servicios especializados de subsuelo implementados en WellRank se fundamentó en tres fuentes complementarias: la clasificación técnica internacional de operaciones de intervención de pozos documentada en el *Oilfield Glossary* de Schlumberger (2024) y en el trabajo de Hadzihafizovic (2023), la descripción del ciclo de vida del pozo y sus requerimientos de servicio presentada en el *Petroleum Engineering Handbook* del SPE, y el marco regulatorio colombiano para operaciones de subsuelo establecido por la Agencia Nacional de Hidrocarburos. La intersección de estas fuentes con la validación del catálogo contra contratos marco reales de compañías operadoras del segmento *Upstream* colombiano determinó el catálogo de quince servicios implementados en el sistema.

Categoría I – Servicios de intervención directa. Esta categoría agrupa los servicios orientados a la ejecución de operaciones sobre el pozo en producción mediante equipos especializados que ingresan al interior del pozo sin requerir su cierre definitivo.

- Coiled Tubing: es un servicio de intervención que emplea tubería continua flexible enrollada en un carrete para introducir herramientas y fluidos al interior del pozo bajo presión, sin necesidad de detener la producción. Sus aplicaciones incluyen limpieza de pozos, acidificación matricial, nitrogen lift, fresado y fracturamiento hidráulico en pozos direccionales y horizontales. ¹
- Slick Line: es un servicio de intervención ligera que emplea un cable de acero de hilo único para introducir herramientas de fondo de pozo con propósitos de diagnóstico, mantenimiento y optimización, incluyendo la instalación y retiro de tapones, válvulas y equipos de medición de presión y temperatura. ¹
- Cañoneo: denominado internacionalmente *perforating*, es el servicio mediante el cual se crean perforaciones controladas en la tubería de revestimiento y en el cemento para establecer comunicación hidráulica entre el yacimiento y el interior del pozo. Constituye una operación fundamental tanto en el completamiento inicial del pozo como en las operaciones de recompletamiento sobre zonas productoras adicionales. ¹
- Estimulación: Los servicios de estimulación comprenden las operaciones orientadas a mejorar la permeabilidad efectiva de la formación productora mediante la inyección de fluidos reactivos a presión matricial, con el propósito de disolver daños de formación y ampliar los canales de flujo desde el yacimiento hacia el pozo. ¹

¹ SCHLUMBERGER. *Oilfield Glossary*. [En línea]. Op Cit.

- Fracturamiento: es un servicio de estimulación que consiste en la inyección de fluidos a presión superior a la presión de fractura de la formación, con el propósito de crear fracturas artificiales en la roca reservorio que amplíen significativamente el área de drenaje del pozo. ⁴
- Well Testing: comprende los servicios de prueba de producción y evaluación de yacimientos mediante los cuales se miden y analizan las respuestas de presión y caudal del pozo bajo condiciones controladas de flujo, permitiendo caracterizar las propiedades del yacimiento, identificar daños de formación y evaluar la productividad potencial del pozo. ⁴

Categoría II – Servicios de completamiento y evaluación. Esta categoría agrupa los servicios orientados a la construcción, evaluación y equipamiento del pozo para su puesta en producción o para la evaluación de sus condiciones de integridad y desempeño.

- Cementación: es el servicio mediante el cual se bombea y posiciona pasta de cemento en el espacio anular entre la tubería de revestimiento y la formación, con el propósito de proporcionar soporte estructural a la tubería, aislar zonas de presiones diferenciales y garantizar la integridad del pozo durante toda su vida productiva. ²
- Registros eléctricos: denominados internacionalmente *well logging*, comprenden la adquisición de mediciones físicas del subsuelo mediante sondas instrumentadas que se desplazan a lo largo del pozo registrando propiedades como resistividad, radioactividad natural, densidad, porosidad neutrónica y velocidad sónica.

² SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS (SPE). *Petroleum Engineering Handbook. Volume II: Drilling Engineering*. Richardson, Texas: SPE, 2006.

⁴ LAKE, Larry W. (ed.). *Petroleum Engineering Handbook. Volume IV: Production Operations Engineering*. Richardson, Texas: SPE, 2007.

- Registros de producción: son un tipo especializado de registro de pozo orientado a la caracterización del perfil de flujo dentro de pozos en producción, midiendo la contribución de cada intervalo al caudal total mediante sensores de velocidad de flujo, temperatura, presión y composición de fluidos.
- Empaques: son dispositivos de sello instalados en el interior del pozo para aislar intervalos específicos de la columna de producción, permitiendo el control selectivo de flujos, la separación de zonas con diferentes presiones y la ejecución de operaciones de estimulación dirigidas a intervalos específicos.
- Tubulares: comprenden el suministro, inspección, manejo e instalación de las tuberías de producción y revestimiento empleadas en el completamiento y en las operaciones de *workover* del pozo, incluyendo la verificación de integridad y las operaciones de roscado y conexión de las tuberías.
- Herramientas: comprenden el suministro y operación del conjunto de dispositivos mecánicos, hidráulicos y electrónicos instalados en el interior del pozo para el control de flujo, medición de parámetros operativos y ejecución de operaciones específicas de intervención.
- Flushby: es un servicio de lavado e inyección de fluidos especializados orientado a la limpieza del interior del pozo y de la formación productora, con el propósito de remover sólidos, detritos de perforación o fluidos de daño acumulados que restringen el flujo desde el yacimiento hacia el pozo.
- Snubbing: es un servicio de intervención de alta presión que permite introducir y retirar tubería en un pozo vivo —es decir, bajo presión— sin necesidad de matar el pozo mediante fluidos de control. A diferencia del *coiled tubing*, el *snubbing* emplea tubería convencional de secciones roscadas, lo que le permite ejecutar operaciones de mayor complejidad mecánica como el fresado, la pesca de herramientas y la recompletación bajo presión. ³

Categoría III – Servicios de soporte operativo. Esta categoría agrupa los servicios de naturaleza logística transversal requeridos para la movilización y operación de los equipos y cuadrillas de los demás servicios en el área del pozo.

- Grúa: El servicio de grúa comprende la provisión de equipos de izaje y maniobra para el montaje, desmontaje y posicionamiento de equipos pesados en el área del pozo durante las operaciones de workover, completamiento e intervención. La ANH establece los requerimientos técnicos y de seguridad aplicables a los equipos de izaje empleados en operaciones de subsuelo en el territorio colombiano. ⁵
- Movilización: comprende el transporte, instalación y desmontaje de los equipos y personal de las compañías contratistas desde su base de operaciones hasta el área del pozo. Los costos de movilización constituyen un componente diferencial en la evaluación económica de los contratos de subsuelo, dado que varían significativamente entre compañías según su ubicación base y la distancia al campo operativo. ³

³ HADZIHAFIZOVIC, Dzevad. *Well Intervention*. ResearchGate, 2023. Disponible en: <https://www.researchgate.net/profile/Dzevad-Hadzihafizovic-2>

⁵ AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH). *Reglamento Técnico de Perforación, Completamiento y Abandono de Pozos*. Bogotá D.C.: ANH, 2015.

El ciclo de gestión contractual de los servicios de subsuelo comprende, de manera general, las siguientes etapas: la definición del alcance técnico del servicio requerido; la evaluación y selección de la compañía contratista mediante criterios técnicos y económicos; la emisión de la Orden de Trabajo (ODT); la ejecución del servicio bajo supervisión del interventor; el registro de los indicadores de desempeño (KPI); y el cierre contractual con la evaluación final del contratista.⁴ Este ciclo, cuando es gestionado de forma manual o a través de herramientas ofimáticas genéricas, presenta limitaciones estructurales en trazabilidad, estandarización y capacidad de análisis estratégico, como se desarrolla en el siguiente apartado.

El proceso de evaluación y selección de compañías contratistas en el segmento *Upstream* responde típicamente a una lógica multicriterio que integra, al menos, tres dimensiones de análisis: la dimensión técnica, que valora la capacidad operativa, experiencia, equipos, tecnología y personal de la compañía; la dimensión económica, que compara los precios unitarios de los tarifarios ofertados para cada tipo de servicio; y la dimensión de desempeño, que evalúa los indicadores KPI históricos de la compañía en operaciones previas, incluyendo el Tiempo No Productivo (NPT), el cumplimiento de cronogramas y el desempeño HSE.⁵ La ponderación relativa de estas tres dimensiones varía según el tipo de servicio y la política de contratación de la operadora, pero su integración simultánea es condición necesaria para una evaluación objetiva y fundamentada.

⁴ TRUJILLO MOYA, Guillermo. Desarrollo de un modelo para la gestión de selección y evaluación de proveedores. Bogotá D.C.: Universidad Militar Nueva Granada, 2022. [Consultado: 1 de marzo de 2026]. Disponible en: <https://repository.umng.edu.co/bitstream/handle/10654/43924/TrujilloMoyaGuillermo2022.pdf>

⁵ INTERNATIONAL ASSOCIATION OF DRILLING CONTRACTORS (IADC). Drilling Manual. 12th ed. Houston: IADC, 2015.

6.3 SISTEMAS DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL DESEMPEÑO DE CONTRATISTAS

La evaluación del desempeño de contratistas en la industria de los hidrocarburos es un proceso sistemático y continuo que permite a las compañías operadoras medir, documentar y gestionar la calidad de los servicios recibidos, con el propósito de optimizar las decisiones de contratación futuras y promover la mejora continua en los prestadores de servicio. ⁵ En el contexto del segmento Upstream, esta evaluación adquiere una dimensión crítica, dado que las consecuencias de un desempeño deficiente se traducen directamente en pérdidas económicas por NPT, riesgos operativos, incumplimientos contractuales y afectaciones al programa de producción.

Los sistemas de evaluación de contratistas en el sector petrolero se estructuran típicamente en torno a indicadores clave de desempeño (KPI) organizados por categorías. Los KPI operativos miden la eficiencia de ejecución respecto al plan, incluyendo tiempos de instalación, avance real frente al programado y productividad por pozo. Los KPI de seguridad y medio ambiente (HSE) cuantifican la tasa de incidentes, el cumplimiento de procedimientos de seguridad y los eventos ambientales reportados. Los KPI de calidad registran las no conformidades identificadas y los retrabajos generados. Finalmente, los KPI de cumplimiento contractual evalúan la adherencia a los términos pactados en tiempo, alcance y costos. ⁵

La gestión efectiva de estos indicadores requiere sistemas de información que permitan el registro oportuno, la consolidación centralizada y el análisis comparativo de los datos de desempeño entre compañías contratistas, superando las limitaciones de los registros manuales. ⁵

⁵ INTERNATIONAL ASSOCIATION OF DRILLING CONTRACTORS (IADC). Drilling Manual. 12th ed. Houston: IADC, 2015. Op. Cit.

6.4 LIMITACIONES DE LAS HOJAS DE CÁLCULO EN LA GESTIÓN OPERATIVA CRÍTICA

Las hojas de cálculo, y en particular Microsoft Excel, han sido históricamente la herramienta predominante para la gestión de información en procesos operativos industriales, dada su flexibilidad, accesibilidad y bajo costo de implementación. Sin embargo, su uso en procesos de alta criticidad operativa presenta limitaciones documentadas que comprometen la calidad de la gestión y la confiabilidad de las decisiones derivadas.

Desde la perspectiva de la integridad de los datos, las hojas de cálculo carecen de mecanismos robustos de validación de entradas, lo que las hace vulnerables a errores humanos, duplicidades e inconsistencias que pueden propagarse silenciosamente a través de fórmulas y referencias cruzadas. ⁶ Panko (1998) documentó que entre el 20% y el 40% de todas las hojas de cálculo de uso operativo contienen al menos un error, hallazgo posteriormente corroborado por Powell, Lawson y Baker (2007), quienes demostraron empíricamente que entre el 0,8% y el 1,8% de todas las celdas con fórmulas contienen errores con consecuencias operativas y financieras concretas para las organizaciones. ⁷

Desde la perspectiva de la trazabilidad, las hojas de cálculo no disponen de registros de auditoría nativos que documenten quién realizó cada modificación, cuándo y sobre qué datos. Esta ausencia de trazabilidad es incompatible con los requisitos de transparencia y auditoría de los procesos contractuales en el segmento *Upstream*, donde cada decisión de asignación de servicios debe estar respaldada por un registro verificable e inmutable.⁶

⁶ PANKO, Raymond R. What We Know About Spreadsheet Errors. *Journal of End User Computing*. Vol. 10, No. 2, 1998. pp. 15-21.

⁷ POWELL, Stephen G.; LAWSON, Barry y BAKER, Kenneth R. Impact of Errors in Operational Spreadsheets. *EuSpRIG*, 2007. p. 57. DOI: 10.48550/arXiv.0801.0715

Desde la perspectiva de la estandarización, la flexibilidad irrestricta de las hojas de cálculo favorece la proliferación de formatos heterogéneos entre distintos usuarios y períodos de tiempo, dificultando la consolidación y comparabilidad de la información y generando pérdida de continuidad en el registro histórico de evaluaciones. ⁶

Estas limitaciones, reconocidas tanto en la literatura técnica como en los instrumentos de política pública del sector minero-energético colombiano, constituyen la motivación técnica central del presente proyecto y fundamentan la necesidad de desarrollar una herramienta software especializada que supere estructuralmente dichas restricciones. ⁷

6.5 DIGITALIZACIÓN Y DESARROLLO DE SOFTWARE APLICADO A LA GESTIÓN OPERATIVA

La digitalización de procesos operativos en la industria de los hidrocarburos ha evolucionado desde la simple automatización de tareas repetitivas hacia la integración de plataformas que soportan la toma de decisiones estratégicas en tiempo real. Este proceso comprende la conversión de flujos de trabajo manuales en soluciones digitales especializadas que garantizan la integridad, trazabilidad y disponibilidad de la información, al tiempo que reducen los tiempos de procesamiento y eliminan las fuentes de error asociadas a la intervención humana en actividades de captura y consolidación de datos. ⁸

⁶ PANKO, Raymond R. What We Know About Spreadsheet Errors. Op. cit pp. 15-21.

⁷ POWELL, Stephen G.; LAWSON, Barry y BAKER, Kenneth R. Op. cit p. 57.

⁸ MICROSOFT. Documentación de C# y .NET. [Consultado: 1 de marzo de 2026]. Disponible en: <https://learn.microsoft.com/es-es/dotnet/csharp/>

En el contexto del desarrollo de software aplicado a la gestión operativa industrial, el lenguaje C# sobre el *Framework* .NET constituye una plataforma madura, robusta y ampliamente adoptada en el desarrollo de aplicaciones de escritorio para entornos empresariales.

Su arquitectura orientada a objetos, su soporte nativo para el manejo de bases de datos relacionales y su capacidad de integración con formatos estándar como Microsoft Excel lo posicionan como una alternativa técnicamente sólida para el desarrollo de herramientas de gestión en entornos industriales que operan sobre infraestructura de cómputo de escritorio, sin requerir inversión en servidores dedicados ni licenciamiento de plataformas en la nube.

El patrón de arquitectura por capas, ampliamente utilizado en el desarrollo de aplicaciones empresariales en C#, organiza el sistema en niveles funcionales independientes que separan la presentación, la lógica de negocio y el acceso a datos. Esta separación garantiza la modularidad y mantenibilidad del sistema, facilita las pruebas unitarias de cada componente y permite la evolución incremental de la herramienta sin afectar la estabilidad del conjunto. Aplicado al contexto del presente proyecto, este patrón permite que los módulos de evaluación técnica, evaluación económica, seguimiento de KPI, gestión de usuarios e historial de evaluaciones operen de forma independiente y cohesionada dentro de una misma plataforma integrada.

La adopción de un enfoque de transformación digital progresiva, que preserva la información histórica existente e integra nuevas capacidades digitales de forma incremental, resulta especialmente pertinente en el segmento *Upstream*, donde la continuidad operativa es un requisito no negociable y la resistencia al cambio tecnológico constituye una barrera real a superar. Este enfoque, respaldado por los lineamientos del Plan Estratégico de Tecnologías de Información PETI 2024-2027 del Ministerio de Minas y Energía, establece la automatización de procesos como la prioridad de transformación digital de mayor demanda en el sector, con 27 requerimientos específicos identificados de un total de 98 necesidades de TI documentadas.

6.6 FUNDAMENTOS DE DECISIÓN MULTICRITERIO Y SELECCIÓN DE PROVEEDORES

6.6.1 Naturaleza del problema de selección de proveedores. La selección de proveedores en procesos contractuales constituye un problema clásico de la Investigación de Operaciones y la Teoría de Decisiones, formalmente denominado en la literatura internacional como *Supplier Selection Problem* (SSP) o *Vendor Selection Problem*. Este problema se caracteriza por la necesidad de evaluar simultáneamente múltiples alternativas —las compañías oferentes— bajo dimensiones de análisis heterogéneas que incluyen variables cuantitativas, como el costo, y variables cualitativas, como el cumplimiento técnico o el desempeño organizacional.

Dickson (1966) fue el primero en sistematizar los criterios de selección de proveedores en entornos industriales, identificando más de veinte factores relevantes y demostrando que la decisión no puede reducirse exclusivamente al menor precio. ¹ Posteriormente, Weber, Current y Benton (1991) realizaron una revisión exhaustiva de los métodos cuantitativos aplicados al problema, documentando la evolución desde enfoques heurísticos centrados en precio hacia modelos estructurados de decisión multicriterio y programación matemática. ²

¹ DICKSON, G. W. *An analysis of vendor selection systems and decisions. Journal of Purchasing. Vol. 2, 1966. pp. 5–17.*

² WEBER, C. A.; CURRENT, J. R. y BENTON, W. C. *Vendor selection criteria and methods. European Journal of Operational Research. Vol. 50, No. 1, 1991. pp. 2–18.*

En el marco más amplio de la ciencia de decisiones, Herbert A. Simon introdujo el concepto de racionalidad limitada, señalando que las organizaciones no optimizan con información perfecta, sino que toman decisiones consistentes bajo restricciones cognitivas y de información incompleta.³ Este principio establece la necesidad de estructuras formales de apoyo a la decisión que reduzcan la arbitrariedad, eleven la consistencia y garanticen la trazabilidad de los resultados. Un Sistema de Apoyo a la Decisión (*Decision Support System, DSS*) es precisamente la arquitectura computacional que implementa dicha estructura formal, organizando la captura de información, la aplicación de reglas y la síntesis de resultados en un formato auditable y reproducible.

6.6.2 Evolución histórica del problema de selección de proveedores. El problema de selección de proveedores ha evolucionado a lo largo de seis décadas desde sus formulaciones iniciales hasta las arquitecturas híbridas contemporáneas. La comprensión de esta evolución permite situar el modelo implementado en *WellRank* dentro de la corriente científica vigente y fundamentar sus decisiones de diseño en la literatura internacional.

a) Origen formal — década de 1960

En 1966, Dickson publicó el primer estudio sistemático de criterios de selección de proveedores, identificando la multiplicidad de factores que intervienen en la decisión e introduciendo la idea de evaluación estructurada más allá del precio. Este trabajo marcó el nacimiento formal del *Vendor Selection Problem* como objeto de estudio científico en la Investigación de Operaciones.

³ SIMON, Herbert A. *The New Science of Management Decision*. New York: Harper & Row, 1960.

b) Formalización teórica — década de 1970. Keeney y Raiffa (1976) desarrollaron la Teoría de Utilidad Multiatributo (*Multi-Attribute Utility Theory*, MAUT), estableciendo las condiciones de independencia preferencial bajo las cuales la preferencia del decisor puede representarse mediante una función aditiva ponderada. ⁴ En paralelo, Charnes, Cooper y Rhodes (1978) desarrollaron el Análisis Envolvente de Datos (*Data Envelopment Analysis*, DEA), método para la evaluación de eficiencia relativa entre unidades de decisión bajo múltiples insumos y productos. ⁵ Estos desarrollos establecieron las bases matemáticas formales sobre las cuales se construirían los métodos multicriterio de las décadas siguientes.

c) Consolidación de métodos estructurados — década de 1980. Thomas L. Saaty introdujo en 1980 el Proceso Analítico Jerárquico (*Analytic Hierarchy Process*, AHP), una técnica de comparaciones pareadas entre criterios y alternativas que permite derivar pesos de forma consistente mediante una estructura jerárquica de descomposición del problema. ⁶ El índice de consistencia introducido por Saaty permite verificar matemáticamente la coherencia lógica de los juicios del decisor, constituyendo una contribución metodológica de alta relevancia para procesos de evaluación que involucran múltiples criterios subjetivos.

⁴ KEENEY, Ralph L. y RAIFFA, Howard. *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-offs*. New York: John Wiley & Sons, 1976.

⁵ CHARNES, A.; COOPER, W. W. y RHODES, E. *Measuring the efficiency of decision-making units*. *European Journal of Operational Research*. Vol. 2, No. 6, 1978. pp. 429–444.

⁶ SAATY, Thomas L. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. New York: McGraw-Hill, 1980.

d) Integración con programación matemática — década de 1990. Weber, Current y Benton (1991) sistematizaron la integración del problema de selección de proveedores con modelos de programación matemática, incluyendo programación lineal, programación entera y modelos de asignación de pedidos bajo múltiples objetivos. Esta integración marcó el tránsito definitivo del problema hacia el dominio de la optimización discreta, estableciendo formalmente la existencia de una función objetivo explícita, un conjunto factible de alternativas y restricciones formales que condicionan la solución.

e) Hibridación y tratamiento de incertidumbre — década de 2000. La literatura de la primera década del siglo XXI incorporó métodos de lógica difusa (*fuzzy*), teoría de conjuntos aproximados (*rough sets*) y teoría gris (*grey theory*) para tratar la incertidumbre inherente en los juicios humanos y en la imprecisión de los datos de proveedores. Surgieron así el AHP difuso, el TOPSIS difuso y múltiples variantes híbridas orientadas a modelar la ambigüedad en la evaluación. Si bien estos métodos aumentan la sofisticación matemática del modelo, frecuentemente sacrifican interpretabilidad y trazabilidad operacional, elementos críticos en contextos contractuales regulados donde la auditoría de las decisiones es un requisito no negociable.

f) Sostenibilidad y HSE — período 2010–2018. A partir de 2010, la literatura incorporó de forma sistemática dimensiones de sostenibilidad en el problema de selección de proveedores, bajo la denominación de *Sustainable Supplier Selection* (SSS). Este enfoque integra el Triple Resultado (*Triple Bottom Line*): dimensión económica, dimensión ambiental y dimensión social. En este marco se consolida el criterio HSE (*Health, Safety and Environment*) como una dimensión de evaluación de alta ponderación, especialmente en sectores industriales de alto riesgo como el segmento *Upstream* del sector hidrocarburos. La norma ISO 20400 sobre *procurement* sostenible refuerza institucionalmente la pertinencia de incorporar variables HSE y de responsabilidad social como criterios formales de evaluación en los procesos de contratación.

g) Resiliencia, riesgo y analítica basada en datos — período 2018–2026. Los desarrollos más recientes en el campo incorporan modelos de optimización robusta, simulación de Monte Carlo para evaluación de estabilidad del *ranking* bajo incertidumbre, y algoritmos de aprendizaje automático para la predicción del desempeño futuro de los proveedores. Este período marca el tránsito hacia sistemas de apoyo a la decisión dinámicos con base histórica, capaces de integrar analítica predictiva sobre el desempeño contractual acumulado. La incorporación de estas extensiones en sistemas existentes requiere la disponibilidad previa de bases de datos longitudinales estructuradas, lo que convierte al historial de evaluaciones de WellRank en el insumo estratégico que habilitará estas capacidades en fases futuras de evolución del sistema.

6.6.3 Métodos de decisión multicriterio relevantes para el modelo.

a) Teoría de Utilidad Multiatributo (MAUT)

La MAUT establece que, bajo condiciones de independencia preferencial entre atributos, la preferencia global del decisor puede representarse mediante una función aditiva ponderada de la forma:

$$U(x) = \sum_i w_i * u_i(x_i) \quad (6.1)$$

⁷ HWANG, Ching-Lai y YOON, Kwangsun. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. Berlin: Springer-Verlag, 1981.

⁸ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 20400:2017 Sustainable Procurement — Guidance. Geneva: ISO, 2017.

donde $u_i(x_i)$ es la función de valor del atributo i y w_i es su peso relativo. Este modelo es el fundamento teórico directo de la función de puntuación integral implementada en WellRank, en la cual cada dimensión de evaluación (técnica, económica y KPI) constituye un atributo con su correspondiente función de valor normalizada y peso configurable.

El supuesto clave de validez del modelo aditivo es la independencia preferencial entre atributos: la preferencia sobre una dimensión de evaluación no debe depender de los niveles alcanzados en las demás. En el contexto de la evaluación de servicios de subsuelo, este supuesto es razonable dado que las dimensiones técnicas, económicas y de desempeño KPI constituyen ejes de valoración funcionalmente independientes desde la perspectiva contractual.

b) Proceso Analítico Jerárquico (AHP). El AHP de Saaty (1980) propone una elicitación estructurada de pesos mediante comparaciones pareadas entre criterios, verificando la consistencia matemática de los juicios mediante el índice de consistencia (*Consistency Ratio*, CR).⁶ El modelo implementado en WellRank permite al usuario definir los pesos de cada dimensión de evaluación directamente según el contexto contractual, lo que constituye una simplificación operativa del principio AHP orientada a reducir la complejidad del proceso en entornos de alta frecuencia de evaluación. El AHP se mantiene como referente metodológico para aquellos escenarios en los que se requiera una elicitación de pesos con verificación formal de consistencia entre múltiples *stakeholders*.

⁶ SAATY, Thomas L. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. New York: McGraw-Hill, 1980.

c) TOPSIS. Evalúa cada alternativa calculando su distancia a una solución ideal positiva —el mejor valor posible en cada criterio— y su distancia a una solución ideal negativa —el peor valor posible— ordenando las alternativas según el coeficiente de cercanía relativa.⁷ El modelo de WellRank adopta un enfoque distinto: la normalización económica proporcional respecto al mínimo observado y la agregación ponderada de evaluaciones normalizadas producen un *ranking* basado en puntuación absoluta en lugar de distancia relativa. Esta decisión de diseño prioriza la interpretabilidad directa de los puntajes sobre la sofisticación geométrica de TOPSIS, en coherencia con el requisito de trazabilidad y auditoría del entorno contractual.

d) Modelo de Suma Ponderada (WSM). El *Weighted Sum Model* (WSM) agrega criterios normalizados mediante pesos definidos por el decisor, produciendo un puntaje escalar comparable entre alternativas. Su principal fortaleza es la transparencia: la contribución marginal de cada criterio al puntaje final es directamente interpretable, y el efecto de cambios en pesos o evaluaciones es predecible sin necesidad de recálculo complejo.⁷ WellRank implementa una variante del WSM con un filtro previo de factibilidad no compensatorio, constituyendo una arquitectura híbrida que supera las limitaciones del WSM puro al eliminar del conjunto evaluado las alternativas que no satisfacen restricciones operativas no negociables.

⁷ HWANG, Ching-Lai y YOON, Kwangsun. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Berlin: Springer-Verlag, 1981.

6.6.4 El sistema WellRank como arquitectura decisional híbrida. La revisión de los métodos de decisión multicriterio presentada en las secciones anteriores permite caracterizar con precisión la naturaleza del modelo implementado en *WellRank*. El sistema no corresponde a ninguno de los métodos clásicos de forma aislada, sino que constituye una arquitectura decisional híbrida que integra elementos de distintas tradiciones metodológicas en una estructura coherente con los requerimientos del entorno operativo:

- Filtro de factibilidad no compensatorio (*knock-out*): antes de la evaluación, el sistema excluye automáticamente las compañías que no cuentan con la totalidad de los ítems requeridos, operando como una restricción dura no compensable por desempeño en otros criterios. Este mecanismo es coherente con los modelos de *outranking* de la tradición ELECTRE y con la lógica de restricciones duras de la optimización discreta.
- Agregación ponderada (WSM/MAUT): sobre el conjunto factible resultante, el sistema aplica una función de puntuación aditiva ponderada con pesos configurables por el usuario, heredando directamente el principio de la MAUT y del WSM.

- Parametrización contractual: los pesos de cada dimensión de evaluación son ajustables por escenario, coherente con el principio AHP de que diferentes contratos revelan diferentes preferencias y prioridades de riesgo del decisor.
- Normalización económica proporcional: la evaluación económica se normaliza respecto al mínimo observado en el conjunto factible, produciendo una métrica de competitividad relativa directamente interpretable.

Esta arquitectura posiciona a WellRank en la frontera contemporánea del campo, como un sistema que combina transparencia operacional —requisito no negociable en contextos contractuales auditables— con una formalización matemática suficiente para constituir un problema de optimización discreta bajo restricciones, diferenciándose estructuralmente de las hojas de cálculo convencionales no solo en su capacidad de procesamiento, sino en la existencia de una función objetivo explícita, un conjunto factible formalmente definido y propiedades matemáticas verificables como la mono tonicidad y la dominancia, cuya formalización se presenta en el capítulo de Desarrollo del presente documento.

7. MARCO LEGAL Y NORMATIVO

El presente marco identifica y desarrolla el conjunto de disposiciones legales, reglamentarias y técnico-normativas dentro de las cuales se enmarca el desarrollo y la aplicación de la herramienta software propuesta. Este marco se organiza en tres ejes: la normativa sectorial del sector hidrocarburos en Colombia, la normativa de contratación aplicable a los servicios de subsuelo, y los estándares técnicos de calidad de software adoptados como referencia en el diseño de la herramienta.

7.1 NORMATIVA SECTORIAL DEL SECTOR HIDROCARBUROS EN COLOMBIA

Decreto 1073 de 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía. Este decreto compila y unifica la totalidad de la reglamentación del sector de minas y energía en Colombia en un solo cuerpo normativo, con el propósito de simplificar su consulta y aplicación por parte de los actores del sector. En materia de hidrocarburos, regula los procedimientos y condiciones para la celebración, ejecución y terminación de los contratos de exploración y producción, estableciendo los requisitos técnicos, financieros y ambientales exigibles a las compañías operadoras y a sus contratistas en todas las fases del segmento *Upstream*.¹ La herramienta desarrollada en el presente proyecto opera en el contexto de las relaciones contractuales reguladas por este decreto, siendo pertinente su referencia como marco normativo de las actividades que la herramienta busca digitalizar y optimizar.

¹ COLOMBIA. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA. Decreto 1073 de 2015, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía. Bogotá D.C.: Diario Oficial No. 49.523, 26 de mayo de 2015.

Acuerdo 003 de 2022 de la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). La Agencia Nacional de Hidrocarburos, como entidad responsable de la administración y adjudicación de los recursos hidrocarburíferos del país, expidió el Acuerdo 003 de 2022, mediante el cual establece los criterios y lineamientos generales para la administración de contratos y convenios de actividades de exploración y explotación de hidrocarburos en Colombia. ² Este acuerdo define principios de transparencia, economía, responsabilidad técnico-científica y responsabilidad ambiental aplicables a la gestión contractual del sector, y exige documentación y trazabilidad completa del ciclo contractual desde la planificación hasta la liquidación del contrato. Estos principios son coherentes con los objetivos de trazabilidad y estandarización que fundamentan el desarrollo de la herramienta propuesta.

Plan Estratégico de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones PETI 2024-2027 del Ministerio de Minas y Energía. El Plan Estratégico de Tecnologías de la Información (PETI) 2024-2027, formulado por el Ministerio de Minas y Energía en el marco de la Política de Gobierno Digital, constituye el instrumento rector de la transformación digital del sector minero-energético colombiano para el cuatrienio vigente. ³ Este plan contempla catorce iniciativas estratégicas orientadas a la modernización y automatización de procesos, la digitalización de trámites y servicios, y la implementación de soluciones tecnológicas innovadoras en el sector. En su diagnóstico de necesidades, identifica 98 requerimientos de tecnologías de información en el sector, siendo la automatización de procesos la necesidad de mayor demanda con 27 requerimientos específicos documentados. ³ Este instrumento de política pública respalda institucionalmente la pertinencia del presente proyecto, al evidenciar que la brecha de digitalización en el sector constituye una prioridad reconocida formalmente por la entidad rectora del sector minero-energético.

² AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH). Acuerdo 003 de 2022, por el cual se adoptan criterios para la administración de contratos y convenios de actividades de exploración y explotación de hidrocarburos. Bogotá D.C.: ANH, 2022. [Consultado: 1 de marzo de 2026].

³ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Plan Estratégico de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones PETI 2024-2027. Bogotá D.C.: Ministerio de Minas y Energía, 2024.

7.2 NORMATIVA DE CONTRATACIÓN APLICABLE A LOS SERVICIOS DE SUBSUELO

Ley 80 de 1993. Estatuto General de Contratación de la Administración Pública. Establece el régimen general de contratación de las entidades estatales en Colombia, definiendo los principios de transparencia, economía y responsabilidad que rigen los procesos de selección, celebración y ejecución de contratos de prestación de servicios.⁴ Si bien su aplicación directa recae sobre entidades del Estado, sus principios de transparencia en la selección de contratistas, documentación del proceso de evaluación y seguimiento del desempeño contractual constituyen el referente normativo de las buenas prácticas de contratación que la herramienta busca promover en el ámbito de las compañías operadoras privadas del segmento *Upstream*.

Ley 1150 de 2007. Modificación al Estatuto de Contratación. Esta ley introduce modificaciones al régimen de contratación pública con el propósito de fortalecer la eficiencia y la transparencia en los procesos de selección de contratistas, promoviendo la objetividad en la evaluación de ofertas mediante criterios técnicos y económicos claramente definidos y ponderados. Los principios de evaluación objetiva y ponderación de criterios que establece esta norma son coherentes con la metodología de evaluación multicriterio implementada en la herramienta desarrollada en el presente proyecto.

⁴ COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 80 de 1993, por la cual se expide el Estatuto General de Contratación de la Administración Pública. Bogotá D.C.: Diario Oficial No. 41.094, 28 de octubre de 1993. Modificada por la Ley 1150 de 2007.

7.3 NORMATIVA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

Ley 1341 de 2009 y Ley 1978 de 2019. Marco regulatorio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en Colombia. La Ley 1341 de 2009, conocida como la Ley TIC, estableció el marco legal para la regulación del sector de tecnologías de la información y las comunicaciones en Colombia, promoviendo el acceso, uso eficiente e innovación tecnológica como pilares del desarrollo digital del país.⁵ La Ley 1978 de 2019, que moderniza y actualiza la Ley 1341, profundiza la apuesta por la transformación digital del Estado y la economía colombiana, fortaleciendo la interoperabilidad entre entidades, la seguridad de la información y el despliegue de infraestructura tecnológica.

NTC-ISO/IEC 25010. Norma Técnica Colombiana de Calidad de Productos Software. La norma, adoptada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), define el modelo de calidad para productos software, estableciendo las características y subcaracterísticas que determinan la calidad de un sistema de información.⁶ Las características de calidad consideradas en el diseño de la herramienta desarrollada en el presente proyecto son las siguientes: adecuación funcional, que garantiza que el software provee las funciones que satisfacen las necesidades del usuario; fiabilidad, que asegura el funcionamiento estable del sistema bajo condiciones de uso normales; usabilidad, que determina la facilidad de aprendizaje y operación por parte de los usuarios finales en entornos operativos de campo; seguridad, que protege la información y los datos gestionados por el sistema contra accesos no autorizados; y mantenibilidad, que facilita la modificación y evolución del sistema a lo largo del tiempo.

⁵ COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 1341 de 2009, por la cual se definen principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Bogotá D.C.: Diario Oficial No. 47.426, 30 de julio de 2009. Modificada por la Ley 1978 de 2019.

⁶ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). NTC-ISO/IEC 25010. Ingeniería de sistemas y software. Requisitos y evaluación de calidad de sistemas y software (SQuaRE). Bogotá D.C.: 2013.

8. ESTADO DEL ARTE

El presente estado del arte analiza las soluciones existentes que guardan relación con el objeto del presente proyecto, con el propósito de identificar los avances previos en el campo de la evaluación y gestión de servicios de subsuelo, determinar las limitaciones de las herramientas disponibles y establecer el vacío específico que justifica el desarrollo de la solución propuesta. El análisis se organiza en cuatro niveles: antecedentes académicos nacionales, plataformas comerciales especializadas del sector hidrocarburos, herramientas de gestión empresarial de propósito general, y la identificación del gap tecnológico que la herramienta desarrollada busca cubrir.

8.1 ANTECEDENTES ACADÉMICOS NACIONALES

Trujillo Moya (2022), en su trabajo de maestría presentado ante la Universidad Militar Nueva Granada, desarrolló un modelo para la gestión de selección y evaluación de proveedores en empresas de servicio de petróleo y gas en Colombia. El trabajo propone una metodología multicriterio que incorpora criterios de costo, calidad, tiempos de entrega y gestión de riesgos, y revisa comparativamente métodos como los números difusos, la gestión de riesgos y las subastas multicriterio. Sin embargo, el trabajo tiene un alcance metodológico y teórico, sin derivar en el desarrollo de una herramienta software funcional que implemente el modelo propuesto ni que integre el seguimiento de indicadores KPI operativos como el Tiempo No Productivo (NPT) o el desempeño HSE, dimensiones críticas en la evaluación de servicios de subsuelo. ¹

¹ TRUJILLO MOYA, Guillermo. Desarrollo de un modelo para la gestión de selección y evaluación de proveedores en empresas de servicio de petróleo y gas en Colombia. Bogotá D.C.: Universidad Militar Nueva Granada, 2022. [Consultado: 1 de marzo de 2026]. Disponible en: <https://repository.umng.edu.co/bitstream/handle/10654/43924/TrujilloMoyaGuillermo2022.pdf>

Blanco (2016), en su proyecto de grado presentado ante la Universidad Cooperativa de Colombia, diseñó un sistema de gestión de evaluación de proveedores para la empresa Petrotiger Ltda., basado en los requisitos de la norma ISO 9001:2015 y la NTC OHSAS 18001:2007. El trabajo establece criterios de evaluación alineados con estándares de calidad y seguridad, pero se circunscribe a un sistema de gestión documental aplicado a una compañía específica, sin abordar la digitalización del proceso ni el desarrollo de una plataforma que permita la evaluación comparativa entre múltiples compañías de servicios de forma automatizada. ²

La Universidad EAN, por su parte, cuenta con trabajos de grado orientados al desarrollo de herramientas de selección y evaluación de proveedores en el sector hidrocarburos, soportados en metodologías mixtas de ponderación de criterios. Estos trabajos aportan marcos metodológicos valiosos, pero tampoco derivan en herramientas software funcionales que integren simultáneamente la evaluación técnica, económica y de KPI operativos bajo una arquitectura digital trazable. ³

En conjunto, los antecedentes académicos revisados evidencian que, si bien producción investigativa nacional sobre la problemática de la evaluación de proveedores en el sector de los hidrocarburos, ninguno de los trabajos identificados desarrolla una herramienta software funcional que integre de forma simultánea los tres ejes de evaluación —técnico, económico y KPI de desempeño— en una plataforma digital con trazabilidad.

² BLANCO, Juan David. Diseño del sistema de gestión de evaluación de proveedores de la industria petrolera en la empresa Petrotiger Ltda., basado en la aplicación de la norma ISO 9001:2015 y NTC OHSAS 18001:2007. Bogotá D.C.: Universidad Cooperativa de Colombia, 2016. [Consultado: 1 de marzo de 2026]. Disponible en: https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/8067/1/2016_evaluacion_proveedores_petrotiger.pdf

³ UNIVERSIDAD EAN. Repositorio institucional: trabajos de grado en evaluación y selección de proveedores en el sector hidrocarburos. Bogotá D.C.: [Consultado: 1 de marzo de 2026].

8.2 PLATAFORMAS COMERCIALES ESPECIALIZADAS DEL SECTOR UPSTREAM

El mercado de software especializado para el segmento *Upstream* ofrece diversas plataformas orientadas a la gestión de operaciones de pozos, cuyos alcances y limitaciones en relación con la evaluación de contratistas de servicios de subsuelo se analizan a continuación.

WellView. Es una de las plataformas más ampliamente adoptadas en la industria para la captura y gestión de datos operativos de pozos, incluyendo reportes diarios de perforación, completamiento y *workover*. Su fortaleza radica en la estandarización de la información operativa de campo; sin embargo, su diseño está orientado a la captura de datos técnicos del pozo y no a la evaluación comparativa del desempeño de las compañías contratistas. La generación de indicadores de desempeño por contratista requiere desarrollos adicionales o integración con herramientas externas de analítica, y la plataforma no dispone de módulos nativos para la evaluación económica comparativa basada en tarifarios ni para la gestión de un historial de evaluaciones contractuales.⁴

OpenWells (Landmark/Halliburton). *OpenWells*, perteneciente a la suite *Landmark* de Halliburton, comparte con *WellView* un enfoque centrado en los datos operativos del pozo. Su integración con el ecosistema *Landmark* la posiciona como una herramienta técnicamente robusta para la gestión de operaciones, pero presenta limitaciones similares en lo que respecta a la evaluación de contratistas: la personalización de reportes de desempeño requiere intervención del área de tecnología, y los módulos de gestión contractual no están optimizados para procesos de evaluación multicriterio de alta frecuencia operativa.⁴

⁴ INTERNATIONAL ASSOCIATION OF DRILLING CONTRACTORS (IADC). Drilling Manual. 12th ed. Houston: IADC, 2015.

P2 Energy Solutions. P2 es una plataforma integral que abarca el ciclo de vida financiero y operativo del segmento *Upstream*, con capacidades en gestión de activos, producción y administración de contratos. No obstante, la evaluación del desempeño de contratistas de servicios de subsuelo no constituye su funcionalidad central, y los módulos disponibles para este propósito requieren configuración adicional y licenciamiento especializado que excede las capacidades de las compañías operadoras de tamaño medio del mercado colombiano. ⁴

En síntesis, las plataformas especializadas del sector *Upstream* están diseñadas para la gestión técnica de los datos del pozo, no para la evaluación integral y comparativa de las compañías prestadoras de servicios de subsuelo. Su implementación implica costos elevados de licenciamiento, alta dependencia de soporte técnico especializado y baja adaptabilidad a los procesos específicos de cada operadora, factores que las hacen inaccesibles o imprácticas para una porción significativa de los operadores del segmento *Upstream* en Colombia.

8.3 HERRAMIENTAS DE GESTIÓN EMPRESARIAL DE PROPÓSITO GENERAL

Adicionalmente a las plataformas especializadas, se identificaron herramientas de gestión empresarial de propósito general que son utilizadas en el sector de los hidrocarburos para soportar parcialmente los procesos de evaluación de contratistas.

⁴ INTERNATIONAL ASSOCIATION OF DRILLING CONTRACTORS (IADC). Drilling Manual. 12th ed. Houston: IADC, 2015.

Sistemas ERP (SAP, Oracle, IFS). Los sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP) como SAP Oil & Gas, Oracle E-Business Suite e IFS ofrecen módulos de gestión de contratos, compras y proveedores que pueden ser adaptados al contexto de los servicios de subsuelo. Sin embargo, su cobertura para la evaluación específica de contratistas en operaciones de subsuelo es limitada en su configuración estándar los indicadores de desempeño técnico operativo como el NPT, el cumplimiento de cronogramas por pozo o el desempeño HSE en campo no están integrados nativamente en estos módulos, y su implementación requiere desarrollos a medida de alto costo y larga duración, que en la práctica resultan inviables para la mayoría de las compañías operadoras del segmento *Upstream* en Colombia. ⁵

Herramientas de inteligencia de negocios (Power BI, Tableau). Las plataformas de *Business Intelligence* como Microsoft Power BI y Tableau ofrecen capacidades avanzadas de visualización y análisis de datos para el seguimiento de KPI y la generación de tableros de desempeño. No obstante, estas herramientas presentan una limitación estructural fundamental para el contexto del presente proyecto: no son plataformas transaccionales. Power BI y Tableau están diseñadas para analizar datos que residen en sistemas fuente externos; no permiten el registro directo de evaluaciones, la emisión de ODT, el almacenamiento de tarifarios ni la gestión de usuarios con control de roles. Por tanto, su uso como solución para la evaluación integral de contratistas de servicios de subsuelo requiere necesariamente la existencia de un sistema transaccional previo que capture y estructure la información, lo cual implica una capa adicional de complejidad e inversión que no resuelve por sí sola el problema identificado. ⁵

⁵ CHETU. Software para la industria petrolera y de gas. [Consultado: 1 de marzo de 2026]. Disponible en: <https://www.chetu.com/es/oil-gas.php>

Plataformas de gestión de contratistas (ISNetwork, Certronic, Minexus). Existen plataformas SaaS orientadas a la precalificación, control documental y supervisión de contratistas en entornos industriales, como ISNetwork, Certronic y Minexus. Si bien estas soluciones digitalizan aspectos del ciclo de gestión de contratistas, su enfoque principal es el cumplimiento documental, la precalificación y la gestión de riesgos de seguridad, sin contemplar la evaluación técnica específica de los servicios de subsuelo, la comparación económica basada en tarifarios del sector ni el seguimiento de KPI operativos propios de las operaciones de perforación, completamiento y *workover*. Adicionalmente, operan como servicios en la nube con esquemas de licenciamiento por suscripción que implican dependencia tecnológica y costos recurrentes que no siempre se justifican para compañías operadoras de tamaño medio. ⁶

Microsoft Excel. Como se desarrolló en el Marco Teórico, Excel continúa siendo la herramienta predominante en la gestión de los procesos de evaluación de servicios de subsuelo en el segmento *Upstream* colombiano. Su persistencia obedece a su accesibilidad y flexibilidad, pero sus limitaciones en trazabilidad, integridad de datos y capacidad de análisis estratégico son incompatibles con las exigencias de un proceso de evaluación de alta criticidad operativa, como ha sido documentado por Powell, Lawson y Baker (2007) y reconocido institucionalmente por el Ministerio de Minas y Energía en el PETI 2024-2027. ⁷

⁶ ISN. ISNetwork: plataforma de gestión de contratistas. [Consultado: 1 de marzo de 2026]. Disponible en: <https://www.isnetwork.com/es>

⁷ POWELL, Stephen G.; LAWSON, Barry y BAKER, Kenneth R. Impact of Errors in Operational Spreadsheets. EuSpRIG, 2007. p. 57. DOI: 10.48550/arXiv.0801.0715

8.4 IDENTIFICACIÓN DEL GAP TECNOLÓGICO

El análisis de los antecedentes académicos y las soluciones comerciales disponibles permite identificar con precisión el vacío tecnológico que el presente proyecto busca cubrir. Dicho vacío puede sintetizarse en la siguiente constatación: no existe en el mercado ni en la literatura académica colombiana una herramienta software funcional que integre de forma simultánea, en una única plataforma de escritorio, los siguientes elementos:

- Evaluación técnica multicriterio de compañías prestadoras de servicios de subsuelo, con criterios configurables y ponderación definida por el operador.
- Evaluación económica comparativa basada en la importación de tarifarios desde Microsoft Excel, identificando automáticamente la opción de mayor competitividad económica.
- Seguimiento de indicadores KPI de desempeño operativo por compañía, incluyendo NPT, tiempos de ejecución, cumplimiento de cronogramas y desempeño HSE.
- Registro histórico de evaluaciones con trazabilidad completa de las decisiones contractuales, garantizando la auditabilidad del proceso.
- Gestión de usuarios y roles diferenciados (interventor, programador, administrador), con control de acceso según perfil operativo.
- Operación sobre infraestructura de escritorio, sin dependencia de servidores dedicados ni licenciamiento de plataformas en la nube.

Tabla 2. Matriz comparativa de soluciones existentes vs. herramienta propuesta

Solución	Eval. técnica	Eval. económica	KPI	Trazabilidad	Gest. usuarios	Nube
WellView / OpenWells	X	X	Parcial	<input checked="" type="checkbox"/>	Parcial	<input checked="" type="checkbox"/>
SAP / Oracle ERP	Parcial	Parcial	X	Parcial	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Power BI / Tableau	X	X	Solo visual	X	X	<input checked="" type="checkbox"/>
ISNetworld / Certronic	X	X	X	Documental	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Microsoft Excel	Manual	Manual	Manual	X	X	X
Herramienta propuesta	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Fuente: Elaboración propia.

La combinación de estos seis atributos en una única herramienta, desarrollada en lenguaje C# con arquitectura por capas e integración nativa con Microsoft Excel, constituye la contribución original del presente proyecto y lo diferencia de todas las soluciones identificadas en el estado del arte.

9. METODOLOGÍA

9.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo corresponde a una investigación de tipo **aplicada**, dado que su propósito central es el desarrollo de una solución tecnológica concreta que atiende una problemática identificada en el entorno operativo real del segmento *Upstream* de la industria de hidrocarburos colombiana. El enfoque es de carácter **mixto**: cuantitativo en la medida en que se definen métricas de evaluación, ponderaciones numéricas y rankings comparativos; y cualitativo en tanto se analizan flujos operativos, restricciones del entorno y criterios de pertinencia de la solución propuesta.

El alcance de la investigación es **descriptivo-propositivo**: descriptivo porque caracteriza el estado actual del proceso de evaluación y selección de empresas de servicios de subsuelo, identificando sus limitaciones y brechas tecnológicas; y propositivo porque a partir de dicho diagnóstico diseña, desarrolla e implementa una herramienta de software que resuelve las deficiencias identificadas.

9.2 FASES DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo del proyecto se estructuró en cinco fases secuenciales, cada una con actividades, entregables y criterios de avance definidos, tal como se describe a continuación.

9.2.1 Fase 1. Diagnóstico y revisión bibliográfica. La primera fase tuvo como objetivo caracterizar el estado actual del proceso de evaluación de empresas prestadoras de servicios especializados de subsuelo en el segmento *Upstream*, identificando las limitaciones tecnológicas existentes y revisando las soluciones disponibles en el mercado y en la literatura académica.

Las actividades desarrolladas en esta fase fueron:

a) Identificación de procesos manuales en el sector. Se realizó un análisis del flujo operativo empleado por los equipos de interventoría del área de subsuelo para llevar a cabo la evaluación y selección de compañías prestadoras de servicios especializados. Se identificó que dicho proceso se ejecutaba de forma manual mediante hojas de cálculo de Microsoft Excel, sin integración entre los distintos criterios de evaluación —técnicos, económicos y de desempeño histórico— y sin un mecanismo centralizado de almacenamiento y consulta de resultados. En áreas como levantamiento artificial, el volumen de archivos manejados simultáneamente alcanzaba hasta cincuenta (50) archivos Excel independientes por escenario de evaluación, lo que generaba fragmentación de la información, riesgo de inconsistencias y tiempos de procesamiento que oscilaban entre cinco (5) y diez (10) días hábiles por evaluación.

b) Análisis de limitaciones de Excel en la evaluación integral. A partir del diagnóstico operativo se identificaron las principales limitaciones del proceso manual basado en hojas de cálculo:

- Ausencia de integración entre la evaluación técnica, económica y los indicadores KPI en un único entorno de trabajo.
- Incapacidad para aplicar automáticamente los mecanismos de descuento vigentes en los contratos marco del sector.
- Inexistencia de un módulo de ponderación configurable que permitiera adaptar los criterios de evaluación a las condiciones particulares de cada escenario operativo.

- Falta de trazabilidad y auditoría sobre las evaluaciones realizadas, dado que los archivos no contaban con control de versiones ni historial estructurado.
- Dependencia de múltiples archivos no vinculados entre sí, con alto riesgo de error humano en la consolidación de resultados.

c) Revisión de soluciones existentes. Se revisaron las soluciones de software disponibles para la gestión y evaluación de proveedores en el sector de hidrocarburos, incluyendo plataformas de gestión de contratos, sistemas ERP especializados y herramientas académicas documentadas en la literatura. Como resultado de esta revisión, documentada en el Estado del Arte del presente trabajo, se estableció que ninguna solución existente atendía de forma simultánea los requerimientos específicos del proceso de evaluación integral de subsuelo en el contexto operativo colombiano, particularmente bajo las restricciones de infraestructura tecnológica características de las compañías operadoras del segmento *Upstream*.

9.2.2 Fase 2. Levantamiento de requerimientos. La segunda fase se orientó a la identificación y documentación formal de los requerimientos funcionales y no funcionales de la herramienta, a partir del análisis detallado de los flujos operativos del área de subsuelo y de las restricciones del entorno de despliegue.

a) Análisis de flujos operativos del segmento Upstream. Se analizaron los procesos de evaluación y contratación de SES vigentes en el área de subsuelo, identificando las etapas del flujo operativo, los actores involucrados, los insumos requeridos —tarifarios, indicadores de desempeño, criterios técnicos— y los productos esperados —ranking de compañías, recomendación de contratación, reporte formal.

b) Identificación de actores del sistema. Se identificaron tres (3) perfiles de usuario con roles y privilegios diferenciados dentro de la herramienta:

- Interventor: usuario operativo principal, responsable de la creación y ejecución de escenarios de evaluación. Tiene acceso a los módulos de construcción de

escenarios, evaluación técnica, evaluación económica, puntajes, historial y generación de reportes.

- Administrador: además de las funciones del interventor, es responsable del mantenimiento y actualización de la información maestra del sistema: tarifarios, KPI, compañías y servicios registrados.
- Programador: perfil técnico con acceso restringido a las funcionalidades de ajuste y actualización del sistema según requerimientos operativos. No tiene acceso a los módulos de evaluación ni a la información confidencial almacenada.

c) Identificación de restricciones del entorno de despliegue. Un elemento determinante en la definición de requerimientos fue la identificación de las restricciones tecnológicas e institucionales del entorno en el que opera la herramienta. Las compañías operadoras del segmento *Upstream* colombiano aplican políticas estrictas de tecnología de la información que limitan la instalación de software no autorizado en sus equipos corporativos, impiden el acceso a servidores externos y restringen el uso de motores de bases de datos relacionales que requieran instalación local. Estas restricciones condicionaron de manera directa las decisiones de diseño e implementación adoptadas en la Fase 3.

d) Definición de criterios de evaluación. Se definieron los tres ejes de evaluación que estructuran la lógica de la herramienta:

- Evaluación técnica: criterios configurables por el usuario con ponderación ajustable, incluyendo criterios base predefinidos como el cumplimiento HSE y criterios adicionales definibles por escenario.
- Evaluación económica: comparación de tarifarios por ítem de servicio con aplicación automática de mecanismos de descuento por volumen de pozos, por contratación simultánea de servicios y por otros factores contractuales.

- Indicadores KPI: evaluación de eficiencia operativa, seguridad industrial y desempeño administrativo de cada compañía, con actualización periódica por parte del administrador.

9.2.3 Fase 3. Diseño del sistema. La tercera fase comprendió el diseño de la arquitectura del sistema, el modelo de datos, los flujos de usuario y la definición de la estrategia de persistencia, todas ellas decisiones fundamentadas en los requerimientos y restricciones identificados en la fase anterior.

a) Arquitectura en tres capas. Se adoptó una arquitectura de software en tres capas:

- Capa de presentación: formularios desarrollados en *Windows Forms* (WinForms) sobre el framework .NET con lenguaje C#, que proveen la interfaz gráfica de usuario para cada módulo de la herramienta.
- Capa de lógica o servicios: métodos encargados del procesamiento de cálculos de evaluación, aplicación de descuentos, cálculo de puntajes ponderados, validación de datos y procesamiento de documentos en formatos Excel, PDF y Word.
- Capa de datos: módulo de acceso y escritura sobre el archivo de almacenamiento centralizado, implementado mediante la librería EPPlus para la gestión de archivos Excel, PdfPig para la lectura de documentos PDF e iText7 para documentos Word.

b) Decisión de persistencia. Almacenamiento basado en archivo Excel centralizado
Como respuesta directa a las restricciones del entorno de despliegue identificadas en la Fase 2, se adoptó como estrategia de persistencia el almacenamiento de toda la información del sistema en un único archivo Excel centralizado, protegido mediante contraseña y cifrado. Esta decisión eliminó la dependencia de motores de bases de datos relacionales que requieren instalación en los equipos corporativos, garantizó la portabilidad total de la herramienta y redujo la fragmentación de información de cincuenta (50) archivos independientes a un único archivo centralizado.

c) Modelo de datos. Se diseñó la estructura de hojas y tablas del archivo Excel centralizado, definiendo las entidades principales del sistema: usuarios y credenciales, compañías prestadoras de servicios, catálogo de servicios e ítems con códigos de herramienta, tarifarios por compañía e ítem, indicadores KPI por compañía, escenarios de evaluación e historial de resultados.

d) Diseño de interfaces y flujos de usuario. Se definieron los flujos de navegación entre módulos y el diseño de las interfaces de usuario para cada uno de ellos, adoptando una paleta visual coherente y una barra de navegación superior de acceso directo a todos los módulos del sistema.

9.2.4 Fase 4. Desarrollo e implementación. La cuarta fase comprendió la implementación de todos los módulos de la herramienta *WellRank* según el diseño definido en la fase anterior. Los módulos desarrollados e implementados en su totalidad fueron los siguientes:

- **Módulo de autenticación:** control de acceso mediante número de registro y correo institucional, con validación contra las credenciales almacenadas en el archivo centralizado y diferenciación de privilegios por rol.
- **Módulo Constructor:** permite al interventor construir el escenario de evaluación mediante la selección de ítems del tarifario por código de herramienta y servicio, definiendo las cantidades requeridas. El sistema determina automáticamente qué compañías participan en la evaluación, excluyendo aquellas que no cuentan con la totalidad de los ítems seleccionados.
- **Módulo Tarifario:** gestión del catálogo de servicios e ítems con sus respectivos precios unitarios por compañía, actualizable por el administrador.

- Módulo Evaluación Económica: comparación de costos por compañía con desglose ítem por ítem, aplicación automática de mecanismos de descuento (por cantidad de pozos, por contratación simultánea de servicios y por facturación) y generación de ranking económico con visualización gráfica.
- Módulo Evaluación Técnica: evaluación de cada compañía sobre criterios configurables con ponderación ajustable por el usuario, incluyendo criterios base predefinidos y criterios adicionales definibles por escenario.
- Módulo KPI: registro y visualización de los indicadores de eficiencia operativa, seguridad industrial y desempeño administrativo de cada compañía, con actualización periódica por parte del administrador.
- Módulo Puntajes: integración de los tres ejes de evaluación —técnico, económico y KPI— en un puntaje final ponderado con pesos porcentuales configurables por el usuario, generación de ranking integral y recomendación automática de la compañía con mayor puntaje, con visualización gráfica comparativa por dimensión de evaluación.
- Módulo Reporte: generación y exportación de un informe formal en formato Excel con desglose completo criterio por criterio, gráficas comparativas embebidas, campos de identificación del proyecto y sección de comentarios.
- Módulo Historial: almacenamiento y consulta de evaluaciones anteriores con fecha, compañías evaluadas, puntajes obtenidos y recomendación final, organizado por perfil de usuario.
- Módulo Compañías y Servicios: gestión del catálogo de compañías prestadoras de servicios y del catálogo de servicios disponibles, actualizables por el administrador.

9.2.5 Fase 5. Validación y pruebas. La quinta fase tuvo como objetivo verificar el correcto funcionamiento de la herramienta *WellRank* en condiciones representativas del entorno operativo real, evaluar su pertinencia desde la perspectiva de los usuarios finales y cuantificar el impacto de su implementación frente al proceso manual preexistente.

a) Validación funcional con datos reales anonimizados. La herramienta fue validada mediante escenarios de evaluación contruidos con datos reales del sector, suministrados bajo acuerdo de confidencialidad por una compañía operadora del segmento *Upstream* colombiano y debidamente anonimizados para efectos del presente trabajo. Los datos empleados incluyeron tarifarios reales de compañías prestadoras de servicios de subsuelo, indicadores KPI vigentes y estructuras de escenarios representativos del área de subsuelo. Esta condición de validación con datos reales garantiza que los resultados obtenidos por la herramienta son representativos de las condiciones operativas del sector.

b) Validación con usuarios finales. La herramienta fue sometida a evaluación por parte de los interventores del área de subsuelo, quienes constituyeron el grupo de usuarios finales objetivo del sistema. Esta validación permitió verificar la pertinencia funcional de cada módulo, la coherencia de los flujos de usuario y la adecuación de la herramienta a las necesidades reales del proceso de evaluación de subsuelo.

c) Comparativa cuantitativa: proceso manual versus *WellRank*. Como parte de la validación se realizó una comparativa cuantitativa entre el proceso de evaluación manual preexistente y el proceso ejecutado mediante *WellRank*, cuyos resultados se presentan en detalle en el capítulo de Resultados y Análisis del presente documento. Los indicadores preliminares de esta comparativa evidenciaron una reducción del tiempo de ejecución de una evaluación integral de entre cinco (5) y diez (10) días hábiles en el proceso manual a entre quince (15) y veinte (20) minutos mediante la herramienta, y una reducción en el número de archivos manejados simultáneamente de cincuenta (50) archivos Excel independientes a un único archivo centralizado.

10. DESARROLLO

10.1 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

10.1.1 Requerimientos funcionales. Los requerimientos funcionales describen las capacidades y comportamientos que el sistema *WellRank* debe proveer para satisfacer las necesidades identificadas en el proceso de levantamiento de requerimientos. La Tabla 3-5 presenta la totalidad de los requerimientos funcionales organizados por módulo.

Tabla 3. Requerimientos funcionales – Módulo de gestión

ID	Módulo	Requerimiento
RF-01	Autenticación	El sistema debe permitir el acceso mediante número de registro y correo institucional
RF-02	Autenticación	El sistema debe diferenciar privilegios de acceso según el rol del usuario: interventor, administrador o programador
RF-03	Autenticación	Las credenciales deben almacenarse de forma segura en el archivo centralizado con cifrado y protección por contraseña
RF-04	Constructor	El sistema debe permitir la construcción de escenarios de evaluación mediante la selección de ítems del tarifario por código de herramienta y servicio
RF-05	Constructor	El sistema debe permitir definir cantidades por ítem seleccionado

ID	Módulo	Requerimiento
RF-06	Constructor	El sistema debe excluir automáticamente las compañías que no cuenten con la totalidad de los ítems seleccionados en el escenario
RF-07	Constructor	El sistema debe permitir guardar y consultar escenarios previamente construidos por perfil de usuario
RF-08	Tarifario	El sistema debe almacenar los precios unitarios de cada ítem por compañía
RF-09	Tarifario	El administrador debe poder actualizar el tarifario desde la herramienta

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3 se aprecian únicamente los módulos de gestión, que va desde la autenticación o conocido como *Login* de la aplicación hasta el tarifario, ya que aquí puede, redundantemente, gestionarse la información preliminar de la aplicación previo a la evaluación integral o el módulo de evaluación.

Tabla 4. Requerimientos funcionales – Módulo de evaluación

ID	Módulo	Requerimiento
RF-10	Ev. Económica	El sistema debe calcular el costo total del escenario por compañía mediante la suma del producto precio unitario por cantidad de cada ítem
RF-11	Ev. Económica	El sistema debe aplicar automáticamente los mecanismos de descuento vigentes: por cantidad de pozos, por contratación simultánea de servicios y por facturación
RF-12	Ev. Económica	El sistema debe generar un ranking económico de compañías ordenado por costo total con descuento aplicado
RF-13	Ev. Económica	El sistema debe visualizar la comparativa económica mediante gráficas de barras por compañía y por servicio
RF-14	Ev. Técnica	El sistema debe permitir la evaluación de cada compañía sobre criterios configurables con ponderación ajustable por el usuario
RF-15	Ev. Técnica	El sistema debe incluir criterios base predefinidos, entre ellos el Cumplimiento HSE
RF-16	Ev. Técnica	El sistema debe permitir la creación de criterios adicionales definibles por el usuario según el escenario
RF-17	KPI	El sistema debe registrar y visualizar los indicadores KPI de cada compañía: eficiencia operativa, seguridad industrial y desempeño administrativo

ID	Módulo	Requerimiento
RF-18	KPI	El administrador debe poder actualizar los valores de los KPI desde la herramienta
RF-19	Puntajes	El sistema debe integrar los tres ejes de evaluación — técnico, económico y KPI— en un puntaje final ponderado
RF-20	Puntajes	Los pesos porcentuales de cada eje de evaluación deben ser configurables por el usuario antes de calcular el puntaje final
RF-21	Puntajes	El sistema debe generar automáticamente un ranking integral de compañías y señalar la recomendación de contratación
RF-22	Puntajes	El sistema debe visualizar el puntaje desglosado por dimensión de evaluación mediante gráficas de barras apiladas
RF-23	Reporte	El sistema debe generar un informe formal exportado en formato Excel con desglose completo criterio por criterio
RF-24	Reporte	El informe debe incluir gráficas comparativas embebidas, campos de identificación del proyecto, gerencia o departamento, y sección de comentarios

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4 se observan los módulos desde la evaluación económica hasta la generación del reporte que conforman la evaluación integral, la cual define la asignación de servicios del área seleccionada, intervención o subsuelo.

Tabla 5. Requerimientos funcionales – Módulo de soporte

ID	Módulo	Requerimiento
RF-25	Historial	El sistema debe almacenar cada evaluación completada con fecha, compañías evaluadas, puntajes y recomendación final
RF-26	Historial	El usuario debe poder consultar y visualizar en detalle evaluaciones históricas desde la herramienta
RF-27	Compañías	El administrador debe poder registrar, actualizar y gestionar el catálogo de compañías prestadoras de servicios
RF-28	Servicios	El administrador debe poder registrar, actualizar y gestionar el catálogo de servicios disponibles en el área de subsuelo

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 5 se observa los módulos desde el historial hasta el módulo de servicios, son módulos donde únicamente el administrador tiene acceso y es el que se encarga de mantener actualizada la información para los usuarios, sobre las compañías, los servicios y las evaluaciones de desempeño que actualmente están bajo contrato en el área de intervención o subsuelo.

10.1.2 Requerimientos no funcionales. Los requerimientos no funcionales definen las características de calidad, desempeño y restricciones técnicas que debe satisfacer WellRank con independencia de su funcionalidad específica.

Tabla 6. Requerimientos no funcionales de WellRank

ID	Categoría	Requerimiento
RNF-01	Portabilidad	La herramienta debe ejecutarse sin instalación de software adicional en los equipos corporativos de la operadora
RNF-02	Portabilidad	Toda la información del sistema debe almacenarse en un único archivo centralizado portable
RNF-03	Seguridad	El archivo de almacenamiento centralizado debe estar protegido mediante contraseña y cifrado
RNF-04	Seguridad	El acceso a las funcionalidades del sistema debe estar restringido por rol de usuario
RNF-05	Usabilidad	La interfaz debe ser navegable mediante una barra de módulos de acceso directo sin requerir capacitación técnica especializada
RNF-06	Usabilidad	Los resultados de cada evaluación deben presentarse mediante visualizaciones gráficas que faciliten la interpretación por parte del interventor
RNF-07	Mantenibilidad	La arquitectura en tres capas debe permitir la actualización o modificación de módulos individuales sin afectar el funcionamiento del resto del sistema

ID	Categoría	Requerimiento
RNF-08	Compatibilidad	La herramienta debe ser compatible con equipos que ejecuten el sistema operativo Windows y el framework .NET
RNF-09	Rendimiento	El tiempo de respuesta para el cálculo del puntaje integral de un escenario no debe exceder los treinta (30) segundos bajo condiciones normales de operación
RNF-10	Confidencialidad	La herramienta no debe transmitir datos a servidores externos ni requerir conexión a internet para su operación

Fuente: Elaboración propia.

10.1.3 Restricciones del sistema. Adicionalmente a los requerimientos funcionales y no funcionales, el diseño e implementación de *WellRank* estuvo condicionado por las siguientes restricciones:

a) Restricciones tecnológicas del entorno. Las políticas de tecnología de la información de las compañías operadoras del segmento *Upstream* colombiano impiden la instalación de motores de bases de datos relacionales, servidores de aplicaciones o software no autorizado en los equipos corporativos. Esta restricción descartó el uso de soluciones de persistencia convencionales como SQL Server, MySQL o SQLite, y condicionó la adopción del archivo Excel centralizado como estrategia de almacenamiento.

b) Restricciones de conectividad. Los entornos operativos en campo del segmento *Upstream* no garantizan conectividad a internet permanente, lo que descartó cualquier arquitectura cliente-servidor o solución basada en la nube.

c) Restricciones de plataforma La herramienta debía ejecutarse en el entorno Windows predominante en los equipos corporativos del sector, lo que orientó la selección de WinForms sobre .NET como plataforma de desarrollo.

10.2 DISEÑO DEL SISTEMA

10.2.1 Arquitectura del sistema. *WellRank* fue diseñado bajo una arquitectura de software en tres capas que separa las responsabilidades de presentación, lógica de negocio y acceso a datos, facilitando el mantenimiento y la escalabilidad del sistema. La Figura 1 ilustra la arquitectura general del sistema.

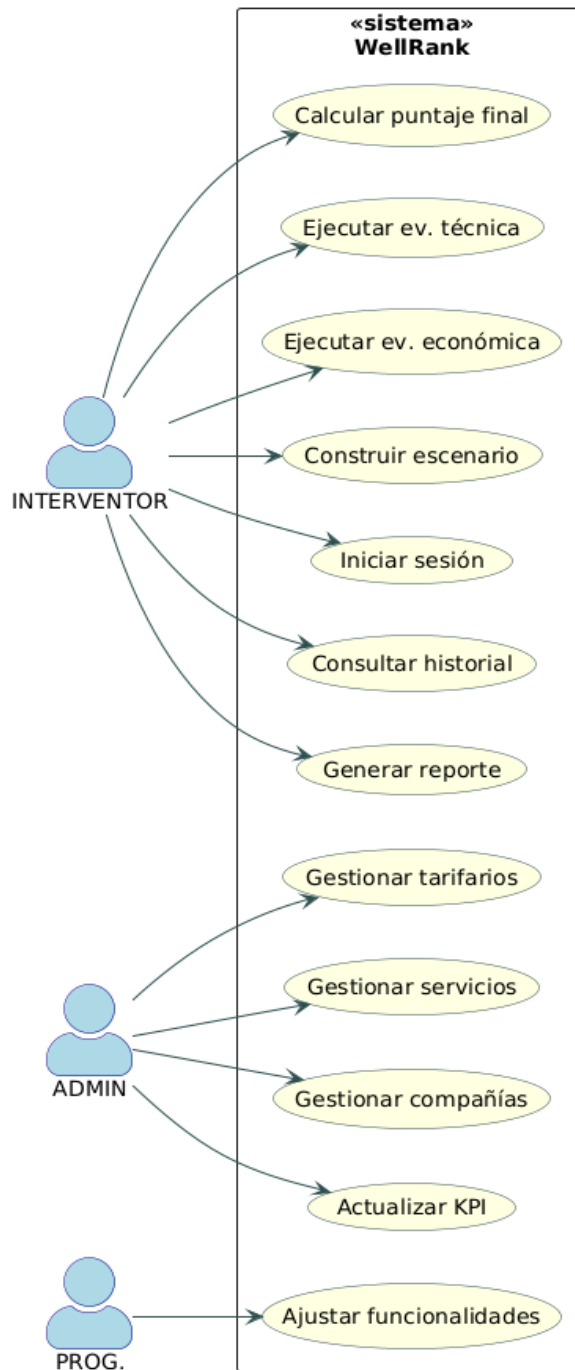
Figura 1. Arquitectura en tres capas de WellRank



Fuente: Elaboración propia.

10.2.2 Diagrama de casos de uso. El diagrama de casos de uso presentado en la Figura 2 describe las interacciones entre los actores del sistema y las funcionalidades disponibles según el rol de cada usuario.

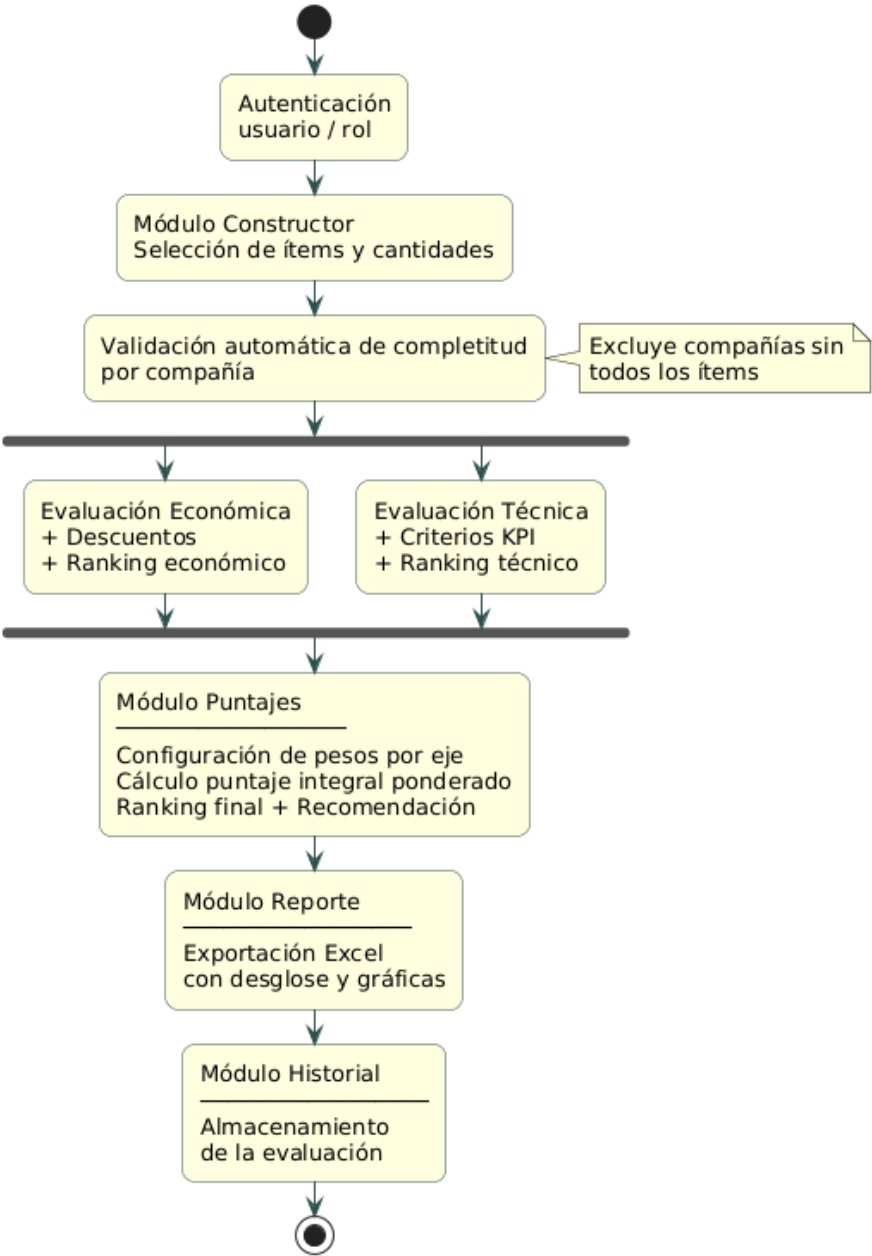
Figura 2. Diagrama de casos de uso de *WellRank*



Fuente: Elaboración propia.

10.2.3 Diagrama de flujo del proceso de evaluación. La Figura 3 describe el flujo completo del proceso de evaluación integral ejecutado mediante *WellRank*, desde el inicio de sesión hasta la generación del reporte final.

Figura 3. Flujo del proceso de evaluación integral en *WellRank*



Fuente: Elaboración propia

10.2.4 Modelo matemático de evaluación multicriterio de *WellRank*

10.2.4.1 Naturaleza formal del modelo. El núcleo analítico de *WellRank* constituye formalmente un problema de optimización discreta bajo restricciones, cuyo propósito es identificar la alternativa óptima —la compañía contratista de mayor puntuación integral— dentro de un conjunto finito de empresas oferentes que satisfacen restricciones operativas no negociables. Este planteamiento se diferencia estructuralmente de una comparación heurística convencional en tres elementos fundamentales: la existencia de una función objetivo explícita y maximizable, la definición formal de un conjunto factible de alternativas mediante restricciones duras, y la verificabilidad matemática de las propiedades del modelo.

El modelo se inscribe en la tradición de la Teoría de Utilidad Multiatributo (MAUT) de Keeney y Raiffa (1976) y del *Weighted Sum Model* (WSM), enriquecida con un filtro previo de factibilidad no compensatorio coherente con los modelos de restricciones duras de la optimización discreta, constituyendo una arquitectura decisional híbrida cuya fundamentación teórica se desarrolló en la sección 6.6 del presente documento.

10.2.4.2 Definición de conjuntos y variables. Conjunto de empresas oferentes

Sea E el conjunto de compañías prestadoras de servicios registradas en el sistema:

$$E = e_1, e_2, \dots, e_n \quad (10.1)$$

donde n es el número total de compañías habilitadas en el catálogo de *WellRank*.

Conjunto de ítems requeridos

Sea I el conjunto de ítems seleccionados por el interventor en el módulo Constructor para el escenario de evaluación:

$$I = i_1, i_2, \dots, i_m \quad (10.2)$$

donde m es el número total de ítems que definen el alcance técnico del escenario.

Variable de disponibilidad tarifaria

Para cada empresa $e_j \in E$ y cada ítem $i_k \in I$, se define la variable binaria de disponibilidad tarifaria:

$$\delta_{jk} = \{1 \text{ si la empresa } e_j \text{ dispone del ítem } i_k \text{ con tarifa válida, } 0 \text{ en caso contrario}\}$$

10.2.4.3 Restricción de factibilidad y conjunto factible. La restricción de factibilidad constituye el primer filtro del modelo y opera como una condición no compensatoria: ningún desempeño sobresaliente en los criterios económico, técnico o de KPI puede compensar la ausencia de un ítem requerido en el alcance del escenario. Esta restricción garantiza que únicamente participen en la evaluación las compañías con capacidad operativa real para ejecutar la totalidad del alcance técnico definido.

Se define el índice de factibilidad de la empresa e_j como:

$$F_j = \prod_{k=1}^m \delta_{jk} \quad (10.3)$$

La interpretación es inmediata: $F_j=1$ si y solo si la empresa e_j dispone de todos los ítems requeridos con tarifa válida; $F_j=0$ si al menos un ítem del escenario no está disponible en su tarifario.

El conjunto factible F se define entonces como:

$$F = \{e_j \in E \mid F_j = 1\} \quad (10.4)$$

Las empresas con $F_j=0$ quedan excluidas del proceso de evaluación con independencia de su desempeño en cualquier otra dimensión. Esta lógica, denominada en la literatura criterio *knock-out*, es implementada automáticamente por el módulo Constructor de *WellRank* al momento de iniciar el proceso de evaluación, sin intervención manual del usuario.

10.2.4.4 Evaluación económica. Costo contractual total

Para cada empresa $e_j \in F$, el costo contractual total del escenario se define como:

$$C_j = \sum_{k=1}^m (P_{jk} * Q_k) - D_j + M_j \quad (10.5)$$

donde:

- P_{jk} es el precio unitario ofertado por la empresa e_j para el ítem ik , extraído del tarifario registrado en el sistema.
- Q_k es la cantidad requerida del ítem ik , definida por el interventor en el módulo Constructor.

- D_j es el descuento contractual total aplicable a la empresa e_j , calculado automáticamente por el sistema en función de las reglas de descuento activas: por cantidad de pozos, por contratación simultánea de servicios y por facturación acumulada.
- M_j es el costo de movilización asociado a la empresa e_j cuando aplique según las condiciones del escenario.

Costo mínimo del conjunto factible.

$$C_{min} = \min_{e_j \in F} C_j \quad (10.6)$$

Normalización económica proporcional

La evaluación económica normalizada de la empresa e_j se define como:

$$EV_{eco,j} = \frac{C_{min}}{C_j} \quad (10.7)$$

Esta normalización produce valores en el intervalo $(0,1]$, donde $EV_{eco,j}=1$ corresponde a la empresa de menor costo —la más competitiva económicamente— y valores progresivamente menores corresponden a empresas con costos superiores al mínimo. La normalización es proporcional y preserva el ordenamiento económico original, garantizando que la empresa más económica siempre obtenga la evaluación máxima en esta dimensión.

10.2.4.5 Evaluación técnica. La dimensión técnica evalúa el cumplimiento de cada empresa $e_j \in F$ sobre un conjunto de R criterios técnicos definidos y ponderados por el interventor según las condiciones específicas del escenario. Para cada criterio r , el interventor registra el cumplimiento de la empresa mediante una valoración estructurada.

La evaluación técnica normalizada de la empresa e_j se define como:

$$EV_{tec,j} = \frac{\sum_{r=1}^R t_{jr}}{T_{max}} \quad (10.8)$$

donde t_{jr} es la puntuación obtenida por la empresa e_j en el criterio técnico r , y T_{max} es la puntuación técnica máxima posible, determinada por la configuración de criterios definida por el interventor para el escenario.

10.2.4.6 Evaluaciones de desempeño KPI. Las evaluaciones de desempeño corresponden a los indicadores KPI registrados y actualizados periódicamente por el administrador del sistema para cada compañía. Cada dimensión de desempeño se normaliza al intervalo $[0,1]$ respecto a los valores máximos definidos en el sistema:

$$EV_{op,j} = \frac{KPI_{op,j}}{KPI_{op,max}} \quad (10.9)$$

$$EV_{adm,j} = \frac{KPI_{adm,j}}{KPI_{adm,max}} \quad (10.10)$$

$$EV_{hse,j} = \frac{KPI_{hse,j}}{KPI_{hse,max}} \quad (10.11)$$

Donde $KPI_{op,j}$, $KPI_{adm,j}$ y $KPI_{hse,j}$ son los valores de eficiencia operativa, desempeño administrativo y cumplimiento HSE de la empresa e_j respectivamente, y los denominadores corresponden a los valores máximos de referencia definidos en el sistema.

10.2.4.7 Función objetivo: puntuación integral ponderada. La función objetivo del modelo integra las cinco dimensiones de evaluación en una puntuación escalar mediante agregación aditiva ponderada. Para cada empresa $e_j \in F$, la puntuación integral se define como:

$$Score_j = w_1 * EV_{eco,j} + w_2 * EV_{tec,j} + w_3 * EV_{op,j} + w_4 * EV_{adm,j} + w_5 * EV_{hse,j} \quad (10.12)$$

Sujeto a:

$$\sum_{k=1}^5 w_k = 1, \quad w_k \geq 0 \quad \forall k \quad (10.13)$$

donde w_1 , w_2 , w_3 , w_4 , w_5 son los pesos asignados a las dimensiones económica, técnica, eficiencia operativa, desempeño administrativo y cumplimiento HSE respectivamente, configurables por el interventor antes de ejecutar el cálculo del puntaje final.

Solución óptima

La empresa recomendada por el sistema es aquella que maximiza la función objetivo sobre el conjunto factible:

$$j^* = \arg \max_{k \in F} \sum_{k=1}^5 w_k * EV_{k,j} \quad (10.14)$$

Esta expresión constituye formalmente un problema de optimización discreta: se busca el elemento del conjunto finito F que maximiza una función objetivo explícita bajo las restricciones de no negatividad y suma unitaria de los pesos. La solución j^* corresponde a la recomendación automática de contratación generada por el módulo de Puntajes de WellRank.

10.2.4.8 Propiedades matemáticas del modelo. El modelo presenta las siguientes propiedades matemáticas verificables que garantizan su comportamiento racional y consistente:

Propiedad 1. Monotonicidad. Si una empresa e_j mejora estrictamente su evaluación en cualquier dimensión k manteniendo constantes todas las demás evaluaciones y los pesos del escenario, su puntuación integral no disminuye:

$$EV'_{k,j} > EV_{k,j} \rightarrow Score'_j > Score_j \quad (10.15)$$

Propiedad 2. Dominancia. Si una empresa e_a supera estrictamente a otra empresa e_b en todas las dimensiones de evaluación, su puntuación integral es necesariamente mayor:

$$EV_{k,a} > EV_{k,b} \forall k \rightarrow Score_a > Score_b \quad (10.16)$$

Esta propiedad garantiza la coherencia del *ranking* con el principio de dominancia de Pareto: ninguna empresa dominada puede superar en el *ranking* a una empresa que la domina en todos los criterios.

Propiedad 3. Invariancia a escala proporcional. Si todos los costos del conjunto factible se multiplican por una constante positiva $\lambda > 0$, el *ranking* económico se mantiene invariante:

$$C'_j = \lambda * C_j \rightarrow EV'_{eco,j} = EV_{eco,j} \quad (10.17)$$

Esta propiedad garantiza que cambios de escala en el nivel general de precios (por ejemplo, variaciones del tipo de cambio o actualizaciones de tarifarios) no alteran el ordenamiento relativo de las compañías en la dimensión económica.

Limitación reconocida: Rank reversal. El modelo es susceptible al fenómeno de *rank reversal*: si el conjunto factible F cambia —por incorporación o exclusión de una empresa— el valor de Cmin se recalcula, modificando los valores de $EV_{eco,j}$ para todas las empresas restantes y potencialmente alterando el ordenamiento final. Esta característica es inherente a los modelos de normalización relativa y debe ser reconocida explícitamente como una limitación del diseño. En el contexto operativo de WellRank, esta limitación se gestiona mediante la definición estable del conjunto factible al inicio del proceso de evaluación, garantizando que el conjunto F no se modifique durante la ejecución del escenario.

10.2.4.9 Ejemplo ilustrativo. Con el propósito de clarificar el funcionamiento del modelo, se presenta a continuación un ejemplo conceptual con datos hipotéticos. Considérese un escenario con $m=3$ ítems requeridos y $n=3$ empresas oferentes, con cantidades $Q=(10,5,2)$.

Paso 1. Verificación de factibilidad:

Tabla 7. Ejemplo ilustrativo del modelo

Empresa	α_1	α_2	α_3	Fj	¿Factible?
e1	1	1	1	1	Sí
e2	1	1	0	0	No
e3	1	1	1	1	Sí

Fuente: Elaboración propia

La empresa e2 queda excluida del conjunto factible por no disponer del ítem i3.

Paso 2. Cálculo de costos y normalización económica:

Tabla 8. Ejemplo cálculo de costos

Empresa	Cj (USD)	EV _{eco,j}
e1	8.500	1,000
e3	10.200	0,833

Fuente: Elaboración propia

$$C_{min} = 8500; EV_{eco,e1} = \frac{8500}{8500} = 1,0; EV_{eco,e3} = \frac{8500}{10200} = 0,833$$

Paso 3. Puntuación integral con pesos $w = (0,30; 0,25; 0,20; 0,10; 0,15)$:

Tabla 9. Ejemplo puntuación integral con pesos

Empresa	EVeco	EVtec	EVop	EVadm	EVhse	Scorej
e1	1,000	0,750	0,800	0,900	0,700	0,8275
e3	0,833	0,950	0,950	0,800	0,950	0,8975

Fuente: Elaboración propia

Solución óptima:

$$j^* = e_3, \text{ con } Score_{e_3} = 0,8975 > Score_{e_1} = 0,8275$$

Este ejemplo ilustra cómo una empresa con mayor costo puede resultar recomendada cuando su desempeño técnico y de KPI compensa suficientemente la diferencia económica, dentro de los pesos definidos para el escenario. Esta capacidad de integración multicriterio constituye precisamente el valor diferencial del modelo frente a los procesos de selección basados exclusivamente en precio.

Nota: los valores numéricos presentados en este ejemplo son hipotéticos y tienen propósito exclusivamente ilustrativo.

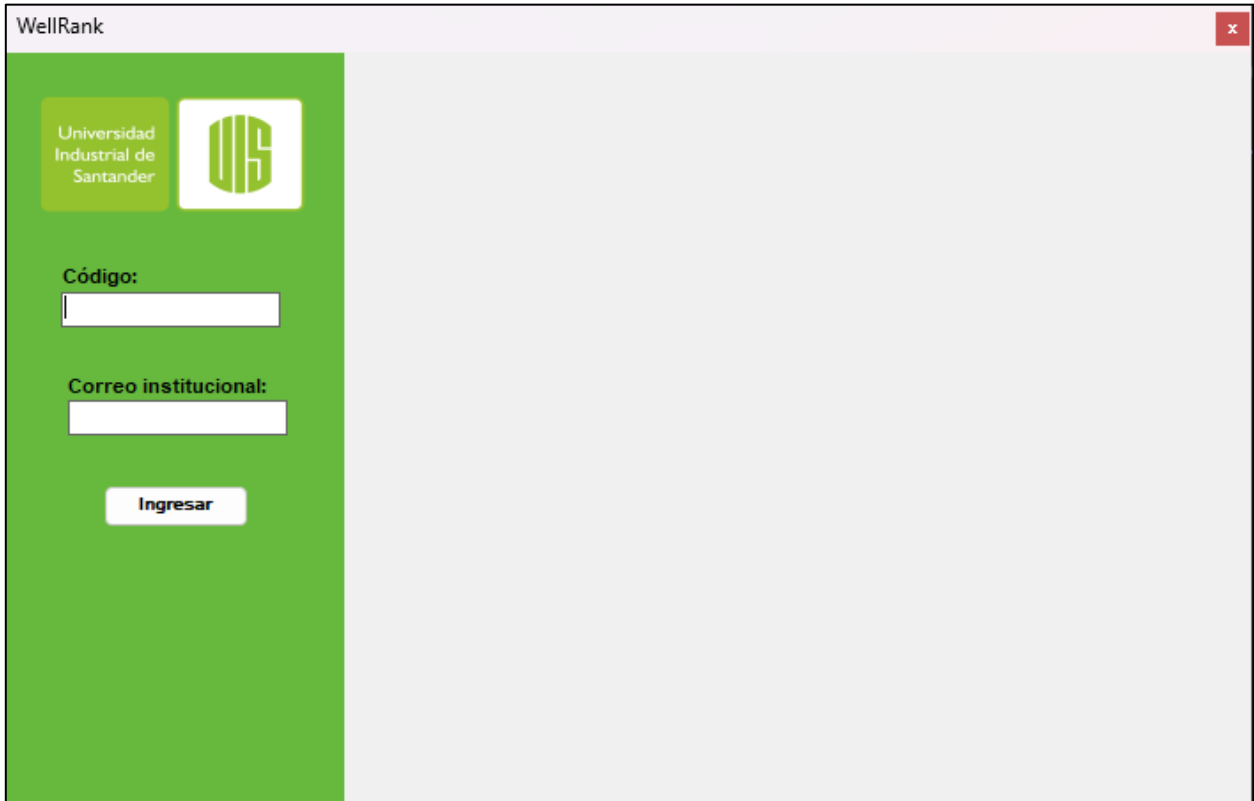
10.3 IMPLEMENTACIÓN

La implementación de *WellRank* se realizó siguiendo el diseño y el modelo matemático definidos en las secciones anteriores, desarrollando cada módulo de forma incremental y verificando su correcto funcionamiento antes de avanzar al siguiente. A continuación, se describe la implementación de cada módulo con sus características técnicas y funcionales.

10.3.1 Módulo de autenticación. El módulo de autenticación constituye el punto de entrada al sistema y es el responsable de verificar la identidad del usuario y determinar los privilegios de acceso según su rol. La pantalla de inicio de *WellRank*, presentada en la Figura 4, solicita dos campos de identificación: el código del usuario y su correo institucional. El sistema valida las credenciales ingresadas contra los registros almacenados en el archivo Excel centralizado protegido, y ante credenciales incorrectas deniega el acceso sin revelar información sobre cuál de los dos campos es incorrecto, como medida de seguridad básica.

El diseño visual de la pantalla de autenticación incorpora la identidad institucional de la Universidad Industrial de Santander mediante sus logos oficiales sobre una paleta cromática en verde corporativo, coherente con la identidad visual de la herramienta en su totalidad. El botón Ingresar ejecuta la validación de credenciales e inicia la carga de la sesión con los privilegios correspondientes al rol del usuario autenticado.

Figura 4. Pantalla de autenticación de WellRank



The image shows a web browser window titled "WellRank". The main content area is split into a green vertical sidebar on the left and a light gray main area on the right. In the green sidebar, at the top, is the logo of the "Universidad Industrial de Santander" (UIS) and its name. Below the logo are two text input fields: the first is labeled "Código:" and the second is labeled "Correo institucional:". At the bottom of the green sidebar is a white button with the text "Ingresar".

Fuente: Elaboración propia

10.3.2 Módulo de navegación principal. Tras la autenticación exitosa, el sistema presenta la pantalla principal de *WellRank*, visible en la Figura 5. Esta pantalla incorpora una barra de navegación superior con acceso directo a la totalidad de los módulos disponibles según el rol del usuario autenticado.

La barra de navegación distingue de forma clara los dos perfiles de acceso del sistema. El perfil de administrador accede a la totalidad de los módulos disponibles: Tarifario, Evaluaciones, Descuentos, Compañías, Servicios, Inicio Subsuelo y Constructor. El perfil de interventor, por su parte, accede exclusivamente al módulo Inicio Subsuelo, que agrupa las funcionalidades operativas del proceso de evaluación: la construcción del escenario, la evaluación económica, la evaluación técnica, la generación de puntajes, el historial y la exportación del reporte.

En la esquina inferior derecha de la pantalla principal se disponen los botones de Panel de credenciales y Cerrar sesión, disponibles desde cualquier módulo del sistema durante toda la sesión activa. (Ver Anexo A)

Figura 5. Pantalla principal y barra de navegación de WellRank



Fuente: Elaboración propia

10.3.3 Módulo de Evaluaciones. El módulo de Evaluaciones, accesible desde la pestaña homónima de la barra de navegación para el perfil administrador, centraliza el registro y la gestión de los tres indicadores clave de desempeño (KPI) que conforman la dimensión de desempeño organizacional del modelo de evaluación integral: Eficiencia Operativa, Seguridad Industrial y Evaluación Administrativa. Estos tres indicadores corresponden a las variables $EV_{op,j}$, $EV_{hse,j}$ y $EV_{adm,j}$ del modelo matemático definido en la sección 10.2.5.

La pantalla del módulo, presentada en la Figura 6, se organiza en dos secciones. El panel izquierdo provee el formulario de gestión con los campos de selección de compañía y los campos de ingreso de los tres valores KPI —Ev. Eficiencia Operativa, Ev. Seguridad Industrial y Ev. Administrativa— actualizables por el administrador del sistema con la periodicidad definida por la compañía operadora.

La tabla de la Figura 6 muestra los KPI de las compañías prestadoras de servicios registradas en el sistema, con valores expresados en escala de 0 a 100 puntos. Estos valores son ingresados y actualizados exclusivamente por el administrador del sistema a partir de las evaluaciones de desempeño realizadas por la compañía operadora, garantizando que la información de desempeño histórico empleada en el proceso de evaluación integral refleje el estado real y actualizado de cada contratista.

Figura 6. Módulo de evaluaciones de WellRank

Compañía	Eficiencia Operativa	Seguridad Industrial	Evaluación Administrativa
	98	90	98
	99	92	82
	99	98	97
	80	85	50
	100	100	95
	99	79	79
	96	89	88
	98	85	83
	97	100	100
	100	100	95
	100	97	100
	89	97	96

Fuente: Elaboración propia

10.3.4 Módulo de Descuentos. El módulo de Descuentos, accesible desde la pestaña homónima para el perfil administrador, gestiona los parámetros de descuento contractual que el sistema aplica automáticamente durante la evaluación económica. Este módulo implementa directamente el término Dj de la función de costo contractual definida en el modelo matemático, sección 10.2.5.4.

La estructura del módulo de Descuentos responde a la lógica contractual del sector de servicios de subsuelo, en la cual los descuentos no son globales por compañía sino específicos por servicio y por compañía, y se clasifican en dos tipos según el criterio de aplicación:

- Descuento por Pozo: porcentaje de descuento aplicado en función del volumen de pozos contratados, con aplicación automática al máximo contractual definido en el sistema, correspondiente a treinta (30) pozos. El sistema aplica este descuento de forma automática sin requerir que el usuario especifique la cantidad de pozos, orientándose siempre al escenario de máximo descuento disponible.
- Descuento por Mes: porcentaje de descuento aplicado en función de la duración del contrato expresada en meses, con aplicación automática al máximo contractual definido en el sistema, correspondiente a seis (6) meses. Al igual que el descuento por Pozo, el sistema lo aplica automáticamente sin intervención manual del usuario.

La pantalla del módulo, presentada en la Figura 7, se organiza en dos secciones. El panel izquierdo provee el formulario de registro de nuevos descuentos, con campos de selección de servicio, compañía, porcentaje de descuento y tipo (Mes o Pozo), y los botones de Guardar y Eliminar. El panel derecho presenta la tabla consolidada de todos los descuentos registrados en el sistema, organizada por servicio, compañía, porcentaje y tipo.

La tabla de la Figura 7 ilustra la estructura de descuentos del sistema con datos reales del sector. Puede observarse que cada servicio tiene asociados exactamente dos registros de descuento por compañía: uno de tipo Pozo y uno de tipo Mes, cada uno con su porcentaje específico según las condiciones contractuales negociadas con cada prestador de servicio. Esta granularidad en la parametrización de los descuentos permite que el sistema replique con exactitud las condiciones económicas reales de los contratos marco vigentes en el sector, superando la limitación del proceso manual donde la aplicación de descuentos dependía de la memoria y criterio individual del usuario.

Figura 7. Módulo de descuentos

Servicio	Compañía	Descuento (%)	Tipo
04-Cementacion		3	Pozo
04-Cementacion		3	Mes
12-Flushby		4	Pozo
12-Flushby		5	Mes
10-Empaques		7,5	Pozo
10-Empaques		0	Mes
09-Herramientas		6	Pozo
09-Herramientas		0	Mes
04-Cementacion		10	Pozo
04-Cementacion		0	Mes
05-Reg. Electricos		15,05	Pozo
05-Reg. Electricos		0	Mes
13-Well Testing		19,95	Pozo
13-Well Testing		19,95	Mes
06-Cañoneo		1,4	Pozo

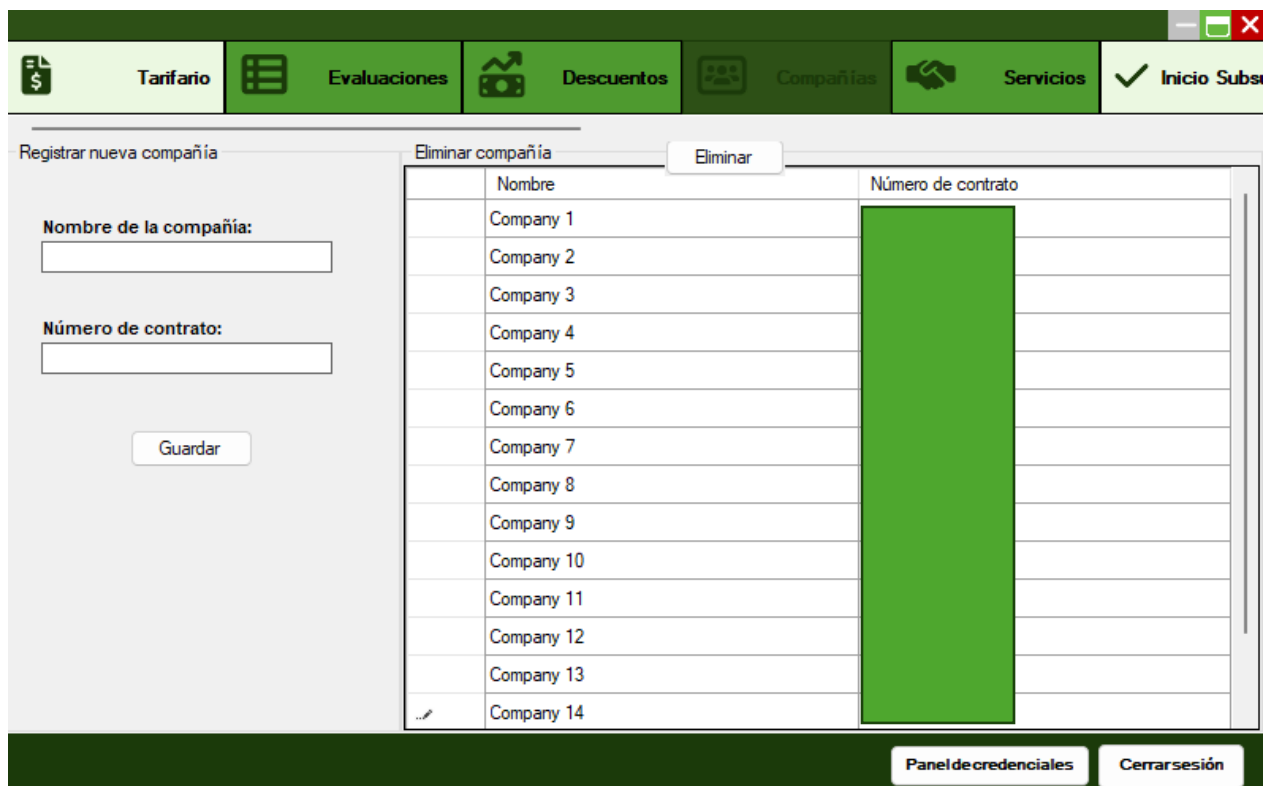
Fuente: Elaboración propia

10.3.5 Módulo de Compañías. El módulo de Compañías, accesible desde la pestaña homónima para el perfil administrador, centraliza el registro y la gestión del catálogo de compañías prestadoras de servicios de subsuelo habilitadas en el sistema. Cada compañía registrada constituye una entrada del conjunto $E=e_1, e_2, \dots$, en definido en el modelo matemático de la sección 10.2.5.2.

La pantalla del módulo, presentada en la Figura 8, se organiza en dos secciones. El panel izquierdo provee el formulario de registro con los campos Nombre de la compañía y Número de contrato, y el botón Guardar para confirmar el registro. La parte superior del panel derecho ofrece las opciones Registrar nueva compañía, Eliminar compañía y Eliminar, que controlan las operaciones de gestión sobre el catálogo. El panel derecho presenta la tabla consolidada de compañías registradas con sus respectivos números de contrato marco vigentes.

La tabla de la Figura 8 muestra las quince compañías prestadoras de servicios de subsuelo actualmente registradas en el sistema, entre las cuales se encuentran compañías de alcance internacional, junto con compañías de capital nacional. El número de contrato asociado a cada compañía corresponde al contrato marco bajo el cual se rigen las condiciones tarifarias y de servicio registradas en el sistema, garantizando la trazabilidad contractual de cada evaluación ejecutada mediante *WellRank*.

Figura 8. Módulo de compañías – Catálogo de compañías prestadoras de servicios



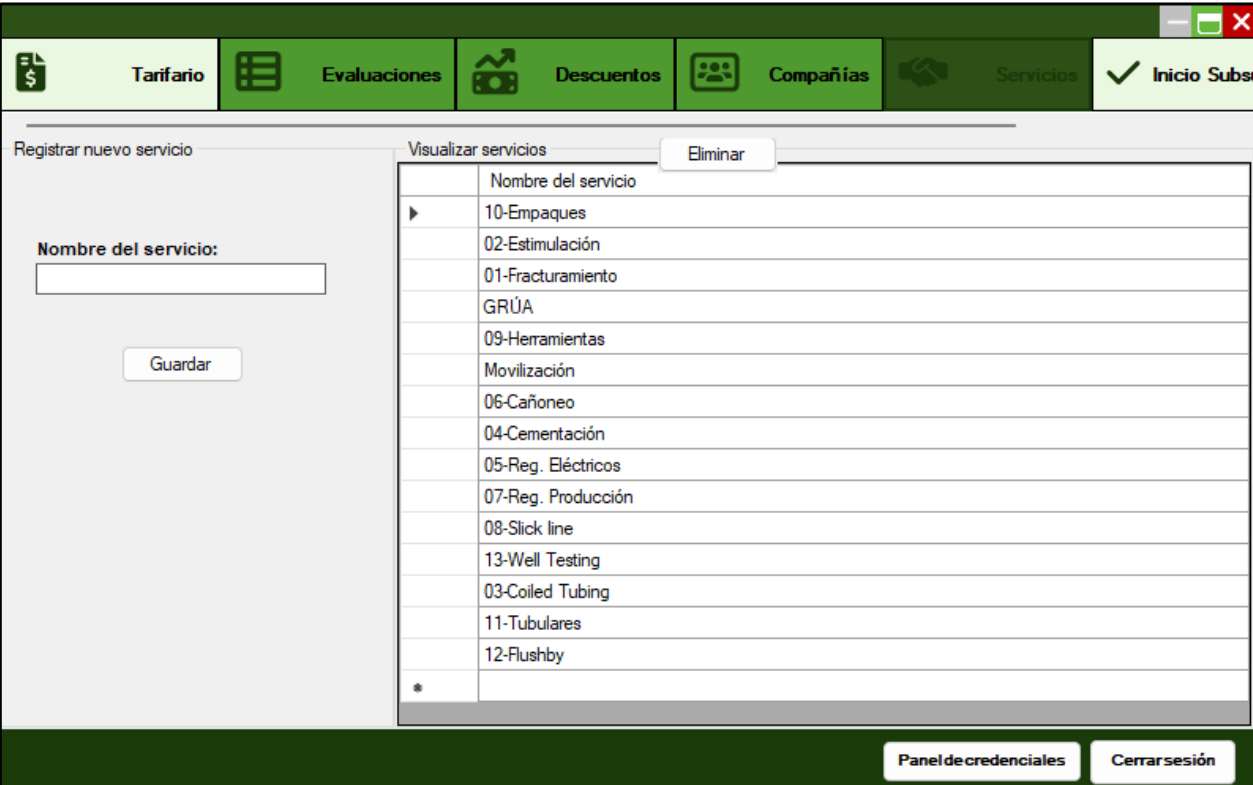
Fuente: Elaboración propia

10.3.6 Módulo de Servicios. El módulo de Servicios, accesible desde la pestaña homónima para el perfil administrador, gestiona el catálogo de servicios especializados de subsuelo disponibles en el sistema. Cada servicio del catálogo agrupa un conjunto de ítems con sus respectivos códigos de herramienta y tarifas por compañía, constituyendo la estructura jerárquica sobre la cual se organiza el tarifario del sistema.

La pantalla del módulo, presentada en la Figura 9, se organiza en dos secciones. El panel izquierdo provee el formulario de registro con el campo Nombre del servicio y el botón Guardar, junto con las opciones Registrar nuevo servicio, Visualizar servicios y Eliminar en la parte superior. El panel derecho presenta el catálogo completo de servicios registrados.

La nomenclatura de cada servicio incorpora un código numérico de identificación que permite su referenciación inequívoca dentro del tarifario y en el proceso de construcción de escenarios en el módulo Constructor. Servicios como Grúa y Movilización no tienen código numérico dado que corresponden a servicios de soporte logístico transversal a múltiples operaciones de subsuelo.

Figura 9. Módulo de servicios – Catálogo de servicios de subsuelo



Fuente: Elaboración propia

10.3.7 Módulo de Tarifario. El módulo de Tarifario, accesible desde la pestaña homónima para el perfil administrador, gestiona el catálogo de precios unitarios por ítem y por compañía que constituye el insumo principal de la evaluación económica del sistema. Este módulo implementa directamente la variable P_{jk} —precio unitario de la empresa e_j para el ítem i_k — del modelo matemático definido en la sección 10.2.5.4.

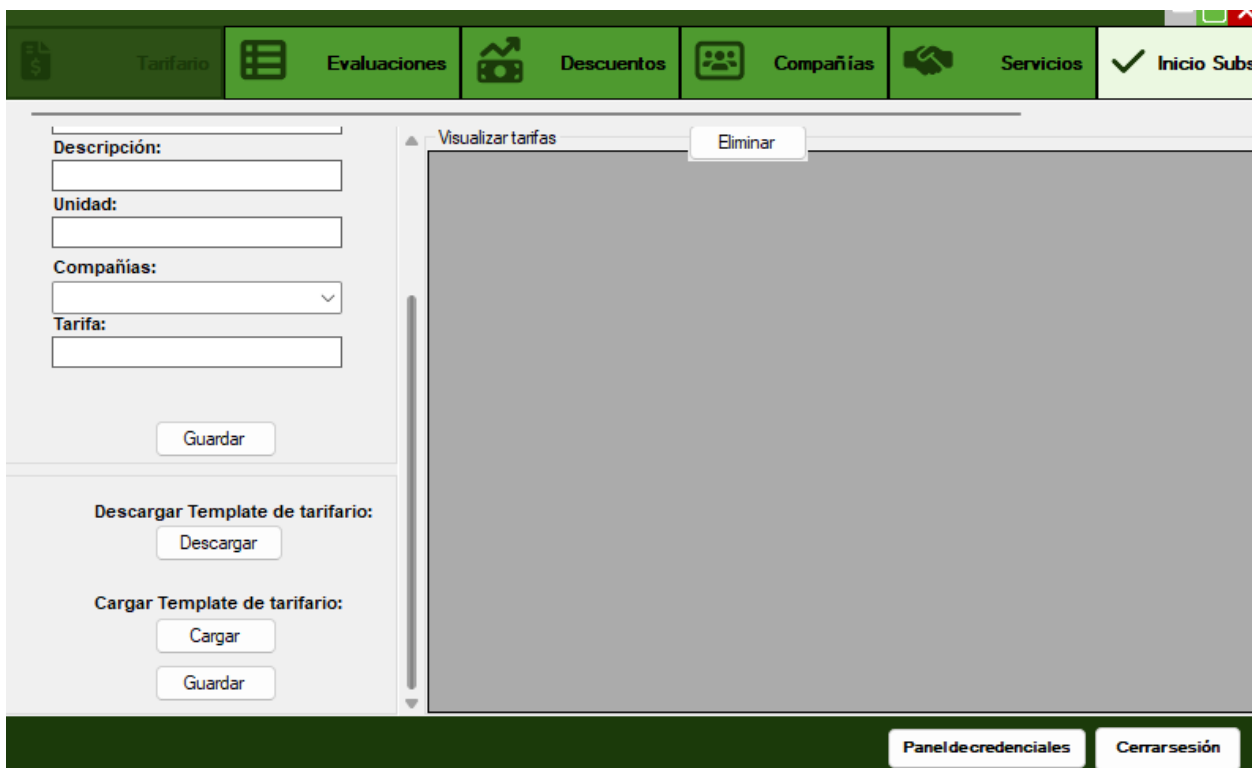
La pantalla del módulo, presentada en la Figura 10, se organiza en dos secciones. El panel izquierdo provee dos mecanismos de actualización del tarifario:

Registro manual: mediante el formulario de **Registrar nueva tarifa**, el administrador puede ingresar individualmente los campos de cada ítem: servicio, código de herramienta, nombre, descripción, unidad, compañía y tarifa. El botón **Guardar** confirma el registro en el archivo centralizado.

Carga masiva mediante plantilla Excel: el sistema provee un mecanismo de actualización masiva del tarifario mediante una plantilla estandarizada en formato Excel. El flujo de actualización opera en dos pasos: primero el administrador descarga la plantilla actualizada mediante el botón **Descargar** de la sección **Descargar Template de tarifario**, completa o modifica los datos de tarifas en el archivo descargado, y finalmente carga el archivo actualizado mediante los botones **Cargar** y **Guardar** de la sección **Cargar Template de tarifario**. Este mecanismo de actualización masiva reduce significativamente el tiempo requerido para la actualización periódica de tarifas, que en el proceso manual implicaba la edición individual de múltiples archivos Excel independientes.

Las opciones **Visualizar tarifas** y **Eliminar** en la parte superior permiten al administrador consultar el tarifario completo cargado en el sistema y gestionar la eliminación de registros cuando sea necesario.

Figura 10. Módulo de Tarifario

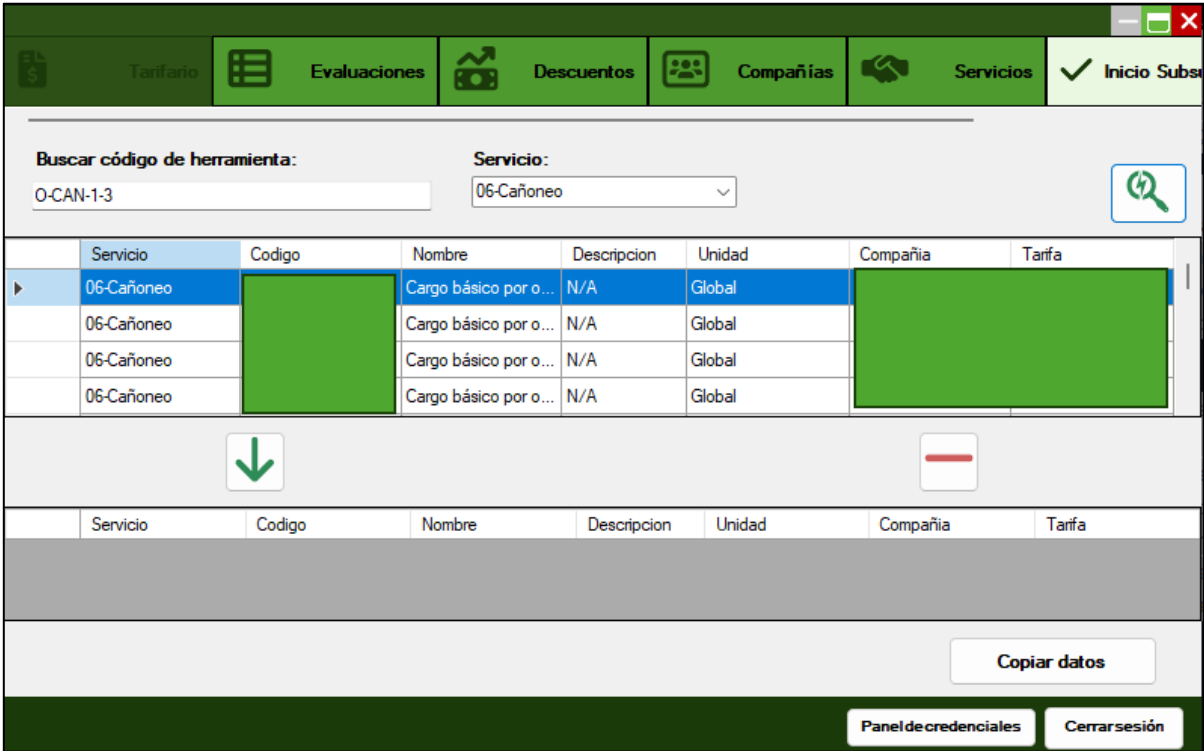


Fuente: Elaboración propia

10.3.8 Módulo Constructor. El módulo Constructor, accesible tanto para el perfil administrador como para el perfil interventor desde la pestaña homónima, es el punto de inicio del proceso de evaluación en *WellRank*. Su función es permitir al usuario construir el escenario de evaluación mediante la selección de los ítems del tarifario que conforman el alcance técnico de la operación a contratar, definiendo así el conjunto $I=i_1, i_2, \dots, i_m$ del modelo matemático.

La pantalla del módulo, presentada en la Figura 11, implementa una interfaz de dos paneles verticales conectados por un botón de transferencia. El panel superior presenta la tabla de búsqueda del tarifario, que permite al usuario filtrar los ítems disponibles por código de herramienta y por servicio. La tabla de resultados muestra para cada ítem encontrado: el servicio al que pertenece, el código de herramienta, el nombre, la descripción, la unidad de medida y la compañía que lo oferta.

Figura 11. Módulo del Constructor — construcción del escenario de evaluación



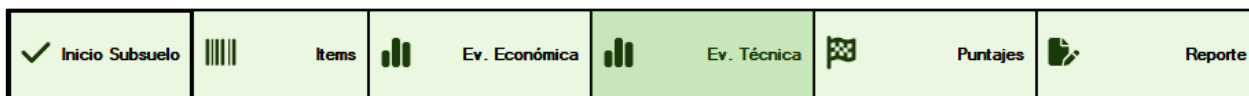
Fuente: Elaboración propia

La Figura 11 ilustra una búsqueda activa sobre el servicio Cañoneo con el código de herramienta O-CAN-1-3, que retorna los ítems de cañoneo TCP disponibles en el tarifario de múltiples compañías permitiendo al interventor identificar con precisión los ítems requeridos para el escenario.

El botón de transferencia con flecha descendente ↓ ubicado en el centro de la pantalla permite al usuario mover los ítems seleccionados en la tabla superior hacia la tabla inferior, que constituye la lista de compras del escenario en construcción. Una funcionalidad crítica del módulo Constructor es la validación automática de completitud de servicio: una vez construida la lista, el sistema verifica qué compañías del catálogo disponen de la totalidad de los ítems seleccionados, implementando la restricción de factibilidad $F_j = \prod_{k=1}^m \delta_{jk}$ del modelo matemático y excluyendo automáticamente del proceso de evaluación las compañías que no satisfacen esta condición.

10.3.9 Módulo Inicio Subsuelo. El módulo Inicio Subsuelo constituye el núcleo operativo de *WellRank* y es el único módulo accesible para el perfil interventor. Agrupa en una única barra de navegación secundaria el flujo completo del proceso de evaluación integral, organizado de izquierda a derecha en cinco pasos secuenciales e intuitivos: Ítems, Ev. Económica, Ev. Técnica, Puntajes y Reporte, como se presenta en la Figura 9. Esta estructura de navegación lineal refleja directamente la arquitectura del modelo matemático definido en la sección 10.2.5: primero se define el conjunto de ítems I , luego se ejecuta la evaluación económica sobre el conjunto factible F , posteriormente se evalúa la dimensión técnica, se calculan los puntajes integrales y finalmente se exporta el reporte de trazabilidad.

Figura 12. Barra de navegación secundaria del módulo Inicio Subsuelo



Fuente: Elaboración propia

10.3.10 Pestaña Ítems. La pestaña Ítems constituye el primer paso del proceso de evaluación integral y es donde el interventor define el escenario de evaluación mediante la carga del conjunto de ítems $I=i_1, i_2, \dots, i_m$ con sus respectivas cantidades Q_k , insumos fundamentales para el cálculo del costo contractual total definido en la ecuación de evaluación económica del modelo.

Al acceder a esta pestaña por primera vez en una sesión, el sistema presenta automáticamente una ventana de diálogo que pregunta al usuario si desea crear un nuevo escenario. Si el usuario confirma la creación, el sistema habilita un escenario en blanco listo para recibir ítems. Si el usuario declina, el sistema habilita el selector de escenarios del panel izquierdo, desde el cual es posible cargar cualquiera de los escenarios históricos previamente guardados bajo el perfil del interventor activo.

La pantalla del módulo, presentada en la Figura 13, se organiza en dos secciones. El panel izquierdo provee los mecanismos de gestión del escenario y de carga de ítems mediante dos métodos alternativos:

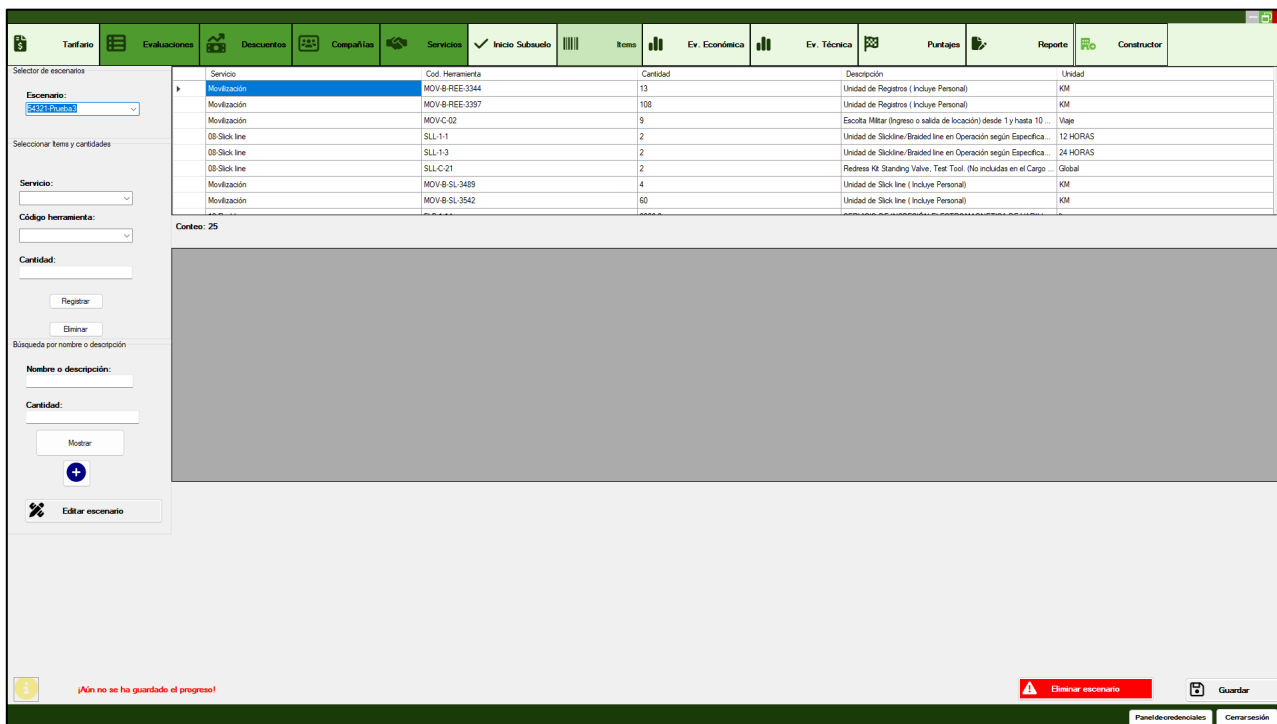
Método 1. Ingreso manual por código: el interventor selecciona el servicio y el código de herramienta mediante listas desplegadas, ingresa la cantidad requerida y registra el ítem mediante el botón **Registrar**. El botón **Eliminar** permite retirar ítems incorrectamente ingresados.

Método 2. Búsqueda por nombre o descripción: el panel incluye un buscador por nombre o descripción del ítem con campo de cantidad y botón **Mostrar**, que despliega los resultados coincidentes y permite agregarlos al escenario mediante el botón **+**.

Método 3. Carga desde portapapeles: el sistema acepta el pegado directo de una lista de ítems copiada desde el portapapeles del usuario, procesando automáticamente la columna de código de herramienta y las cantidades. Esta funcionalidad permite al interventor cargar directamente la lista de compras construida en el módulo Constructor sin necesidad de transcripción manual, reduciendo significativamente el tiempo de configuración del escenario y eliminando el riesgo de errores de digitación.

El panel derecho presenta la tabla del escenario activo con los ítems cargados, mostrando para cada ítem el servicio al que pertenece, el código de herramienta, la cantidad registrada, la descripción completa y la unidad de medida. El contador **Conteo: 25** visible en la Figura 13 indica el número total de ítems cargados en el escenario activo. En la parte inferior de la pantalla, el aviso **¡Aún no se ha guardado el progreso!** alerta al usuario sobre cambios pendientes de guardar, y los botones **Eliminar escenario** y **Guardar** en la esquina inferior derecha controlan la persistencia del escenario en el archivo centralizado. (Ver Anexo B)

Figura 13. Pestaña Ítems — carga y gestión del escenario de evaluación



Fuente: Elaboración propia

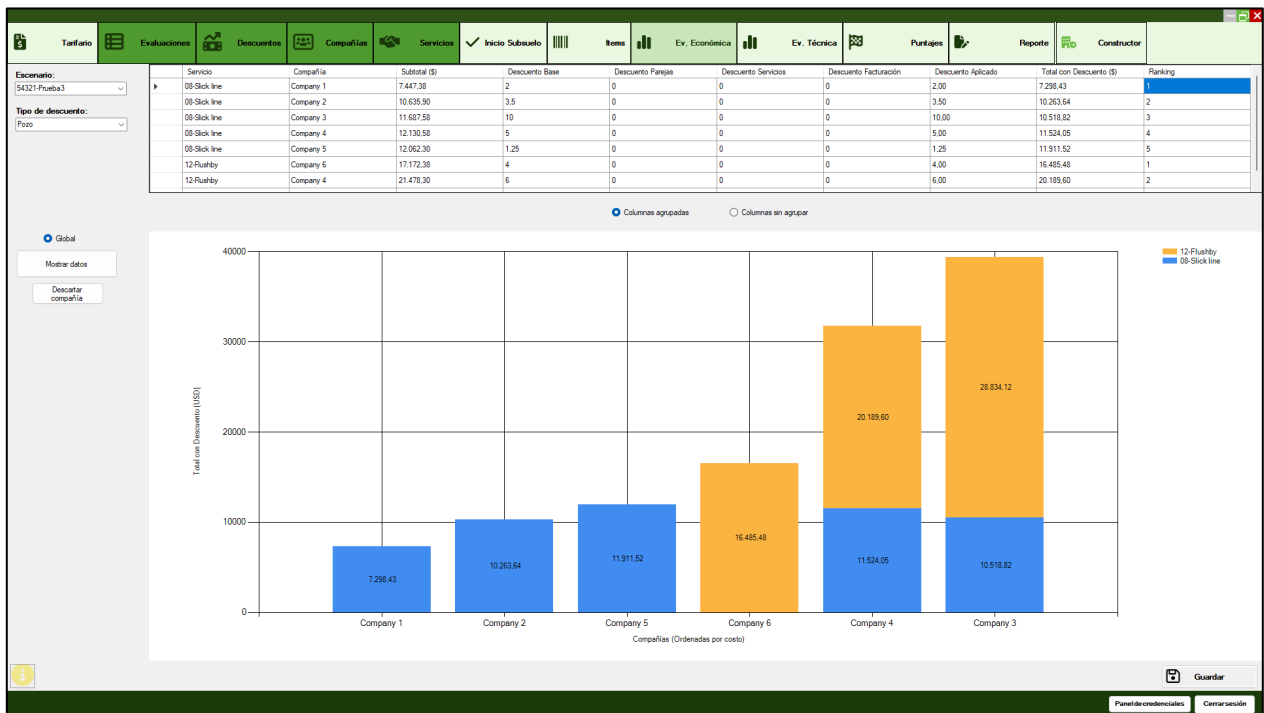
10.3.11 Pestaña Evaluación Económica. La pestaña Evaluación Económica constituye el segundo paso del proceso de evaluación integral y ejecuta automáticamente el cálculo del costo contractual total C_j y la normalización económica $EV_{eco,j}$ definidos en el modelo matemático de la sección 10.2.5.4, presentando los resultados de forma simultánea en tabla y en gráfico de barras.

La pantalla del módulo, presentada en la Figura 14, se organiza en tres secciones. El panel izquierdo provee los controles de configuración del escenario económico, incluyendo el selector de escenario activo y el selector de **Tipo de descuento**, que permite al interventor elegir entre la aplicación de descuentos por **Pozo** o por **Mes** según las condiciones contractuales del escenario. Este selector implementa directamente el término D_j de la función de costo contractual, activando automáticamente los porcentajes de descuento correspondientes al tipo seleccionado para cada servicio y compañía, tal como fueron parametrizados en el módulo de Descuentos.

El panel superior derecho presenta la tabla de resultados económicos con las siguientes columnas por cada registro servicio-compañía: **Subtotal (\$)** correspondiente al producto $\sum P_{jk} \cdot Q_k$ antes de descuentos, **Descuento Base** extraído automáticamente del módulo de Descuentos según el tipo seleccionado, **Descuento Parejas**, **Descuento Servicios** y **Descuento Facturación** como columnas editables que permiten al interventor ingresar manualmente descuentos contractuales adicionales no parametrizados en el sistema, **Descuento Aplicado** como suma total de todos los descuentos activos, **Total con Descuento (\$)** correspondiente al valor final C_j del modelo, y **Ranking** que ordena las compañías de menor a mayor costo dentro de cada servicio. Únicamente participan en esta tabla las compañías que superaron el filtro de factibilidad, es decir, aquellas para las cuales $F_j=1$.

El panel inferior derecho presenta el gráfico de barras de los costos totales con descuento por compañía, con la opción de visualización en **Columnas agrupadas** —que presenta las barras de cada servicio por separado para cada compañía— o **Columnas sin agrupar** —que presenta el costo total consolidado por compañía—. La Figura 14 ilustra la visualización en columnas agrupadas para el escenario **54321-Prueba3**, mostrando los servicios Slick line y Flushby con sus respectivos costos por compañía ordenados de menor a mayor, donde la *Company 1* resulta la compañía más competitiva en el servicio Slick line con un total de USD 7.298,43. (Ver Anexo C)

Figura 14. Pestaña Evaluación Económica — cálculo de PxQ, aplicación de descuentos y visualización gráfica de costos.



Fuente: Elaboración propia

10.3.12 Pestaña Evaluación Técnica. La pestaña Evaluación Técnica constituye el tercer paso del proceso de evaluación integral y ejecuta el cálculo de la evaluación técnica normalizada $EV_{tec,j}$ definida en el modelo matemático de la sección 10.2.5.5, integrando tanto la comparación económica respecto a una línea base como la verificación del cumplimiento de criterios técnicos definidos por el interventor.

La pantalla del módulo, presentada en la Figura 15, se organiza en dos secciones. El panel izquierdo provee los controles de configuración de la evaluación técnica con los siguientes parámetros:

Línea base sin descuento: valor de referencia expresado en USD que el interventor establece a partir de su conocimiento experto sobre el costo esperado de los servicios del escenario sin aplicación de descuentos. Este valor actúa como *benchmark* de comparación para contextualizar la competitividad económica de las ofertas dentro del escenario. En la Figura 15 la línea base sin descuento está establecida en USD 1.000.000.

Cantidad de pozos: parámetro que define el volumen de pozos proyectados para el contrato, empleado en el cálculo del PxQ por pozos que aparece en la columna **PxQ x Pozos (USD)** de la tabla de resultados.

Opciones avanzadas: selector que permite al interventor activar o desactivar la **Compleitud de servicio**, es decir, la restricción de factibilidad $F_j=1$ que excluye del proceso de evaluación a las compañías que no disponen de todos los ítems requeridos. Cuando se selecciona **Sin completitud de servicio**, el sistema permite la participación de compañías con cobertura parcial del alcance, opción útil para escenarios exploratorios donde el interventor desea conocer el panorama completo de ofertas antes de aplicar el filtro de factibilidad estricta.

Tipo de descuento: selector equivalente al de la pestaña de Evaluación Económica, que permite elegir entre descuentos por Pozo o por Mes para el cálculo de la línea base con descuento.

La tabla de resultados del panel derecho presenta para cada compañía participante las columnas: **Línea Base Sin Descuento**, **Línea Base con Descuento**, **PxQ (USD)**, **PxQ x Pozos (USD)**, **LB Sin Descuento x Pozos**, **LB Con Descuento x Pozos** y **Ranking** por servicio seleccionado.

La sección inferior de la pantalla presenta la **tabla de criterios técnicos**, que constituye el mecanismo de evaluación técnica cualitativa del modelo. Esta tabla contiene cinco criterios evaluables por compañía:

Criterio 1. Disponibilidad: es el único criterio obligatorio y actúa como condición eliminatoria. Una compañía que no cumple el criterio de Disponibilidad queda automáticamente excluida del proceso de evaluación con independencia de su desempeño en los demás criterios, implementando una restricción *knock-out* adicional a la restricción de factibilidad del módulo Ítems.

Criterios 2 al 5: son criterios técnicos configurables por el interventor, quien puede personalizar sus nombres según las condiciones específicas del escenario —por ejemplo, *Temperatura >245°F, Presión >5.000 psia, Certificación API, Experiencia en campo*—. Estos criterios operan como *checkboxes* que el interventor marca o desmarca para cada compañía, y su estado modifica automáticamente el porcentaje de cumplimiento técnico acumulado que aparece en la fila **TOTAL** de la tabla para cada compañía participante, constituyendo el valor EVtec,j que se integrará en el cálculo del puntaje final.

La Figura 15 muestra el escenario **54321-Prueba3** con todos los criterios marcados para todas las compañías participantes, resultando en un TOTAL de 100% para cada una de ellas en este escenario particular. (Ver Anexo D)

Figura 15. Pestaña Evaluación Técnica

The screenshot displays the 'Evaluación Técnica' (Technical Evaluation) tab. On the left, there is a sidebar with configuration options: 'Escenario' (Scenario) set to '543217-Pueba3', 'Línea base sin descuento' (Discount-free base line) at 100000, 'Cantidad de pozos' (Number of wells) at 5, 'Opciones avanzadas' (Advanced options) set to 'Sin completitud de servicio' (Without service completeness), and 'Tipo de descuento' (Discount type) set to 'Pozo' (Well). Below these are buttons for 'Mostrar datos' (Show data) and 'Eliminar criterio' (Remove criterion). The main area contains a table with columns: 'Compañía' (Company), 'Línea Base Sin Descuento', 'Línea Base con Descuento', 'PvG (USD)', 'PvG x Pozos (USD)', 'LB Sin Descuento x Pozos', 'LB Con Descuento x Pozos', 'Ranking', and 'Servicio'. The table lists six companies and a 'TOTAL' row. Below the table is a 'Criterios' (Criteria) section with five criteria (Disponibilidad, Criterio 2, Criterio 3, Criterio 4, Criterio 5) and a 'TOTAL' row, each with a '100%' weight and a '100%' score. At the bottom right, there are buttons for 'Reiniciar escenario' (Reset scenario), 'Guardar' (Save), 'Panel de credenciales' (Credentials panel), and 'Cerrar sesión' (Logout).

Compañía	Línea Base Sin Descuento	Línea Base con Descuento	PvG (USD)	PvG x Pozos (USD)	LB Sin Descuento x Pozos	LB Con Descuento x Pozos	Ranking	Servicio
Company 1	100000	98000	728.43	3642.15	500000	490000	1	Global
Company 2	100000	90000	10618.82	52594.1	500000	450000	2	Global
Company 3	100000	96000	16485.48	82427.4	500000	480000	3	Global
Company 4	100000	94000	31713.65	158568.25	500000	470000	4	Global
Company 5	100000	95000	39331.76	196658.8	500000	475000	5	Global
Company 6	100000	94000	42421.71	212108.55	500000	470000	6	Global
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia

10.3.13 Pestaña Puntajes. La pestaña Puntajes constituye el cuarto paso del proceso de evaluación integral y es donde el sistema ejecuta el cálculo de la función objetivo Scorej definida en el modelo matemático de la sección 10.2.5.7, integrando las cinco dimensiones de evaluación mediante los pesos configurados por el interventor para el escenario específico.

La pantalla del módulo, presentada en la Figura 16, se organiza en tres secciones. El panel izquierdo provee el selector de escenario activo y el bloque de configuración de **Puntajes Máximos**, que corresponde directamente a los pesos wk del modelo matemático expresados en escala de 0 a 100 puntos. Los cinco criterios configurables son:

- **Eficiencia Operativa** (w3): puntaje máximo asignable al KPI de eficiencia operativa de la compañía.
- **Cumplimiento HSE** (w5): puntaje máximo asignable al KPI de cumplimiento HSE de la compañía.
- **Desempeño del contrato** (w4): puntaje máximo asignable al KPI de desempeño administrativo contractual de la compañía.
- **Ev. Técnica** (w2): puntaje máximo asignable al resultado de la evaluación técnica por servicio ejecutada en la pestaña anterior.
- **Ev. Económica** (w1): puntaje máximo asignable al resultado de la evaluación económica integral del escenario.

Antes de ejecutar el cálculo, el sistema implementa una validación obligatoria mediante la función ValidarSuma(), que verifica que la suma exacta de los cinco puntajes máximos ingresados sea igual a 100. Si la suma es diferente de 100 —ya sea menor o mayor— el sistema bloquea el cálculo y despliega el mensaje de advertencia: *"La suma de los valores debe ser exactamente 100 antes de continuar."* Solo cuando la validación es exitosa el sistema procede con el cálculo mediante el botón **Mostrar**. Esta restricción implementa directamente la condición $\sum_{k=1}^5 w_k = 1$ del modelo matemático, garantizando que los pesos sean coherentes y que el puntaje máximo posible para cualquier compañía sea siempre 100 puntos.

El cálculo de cada dimensión sigue la lógica del modelo matemático con las siguientes reglas implementadas en el código:

Dimensiones KPI (Eficiencia Operativa, Cumplimiento HSE y Desempeño del contrato): el puntaje de cada dimensión se calcula como:

$$Puntaje_{k,j} = \frac{KPI_{k,j} * w_k}{100} \quad (10.18)$$

donde $KPI_{k,j}$ es el valor del indicador de la compañía e_j en la dimensión k expresado en escala de 0 a 100, y w_k es el puntaje máximo configurado para esa dimensión.

Dimensión técnica: el puntaje técnico se calcula mediante una regla de tres directa sobre el porcentaje de cumplimiento acumulado $EV_{tec,j}$ obtenido en la pestaña de Evaluación Técnica:

$$Puntaje_{tec,j} = \frac{EV_{tec,j}}{100} * w_2 \quad (10.19)$$

Una compañía con 100% de cumplimiento técnico obtiene el puntaje máximo configurado para esta dimensión.

Dimensión económica: el puntaje económico implementa la normalización proporcional respecto al mínimo definida en el modelo matemático:

$$Puntaje_{eco,j} = \frac{C_{min}}{C_j} w_1 \quad (10.20)$$

donde C_{min} es el costo total con descuento más bajo entre todas las compañías participantes del escenario. La compañía de menor costo obtiene el puntaje máximo configurado para esta dimensión, y las demás obtienen puntajes proporcionales a su distancia relativa respecto al mínimo.

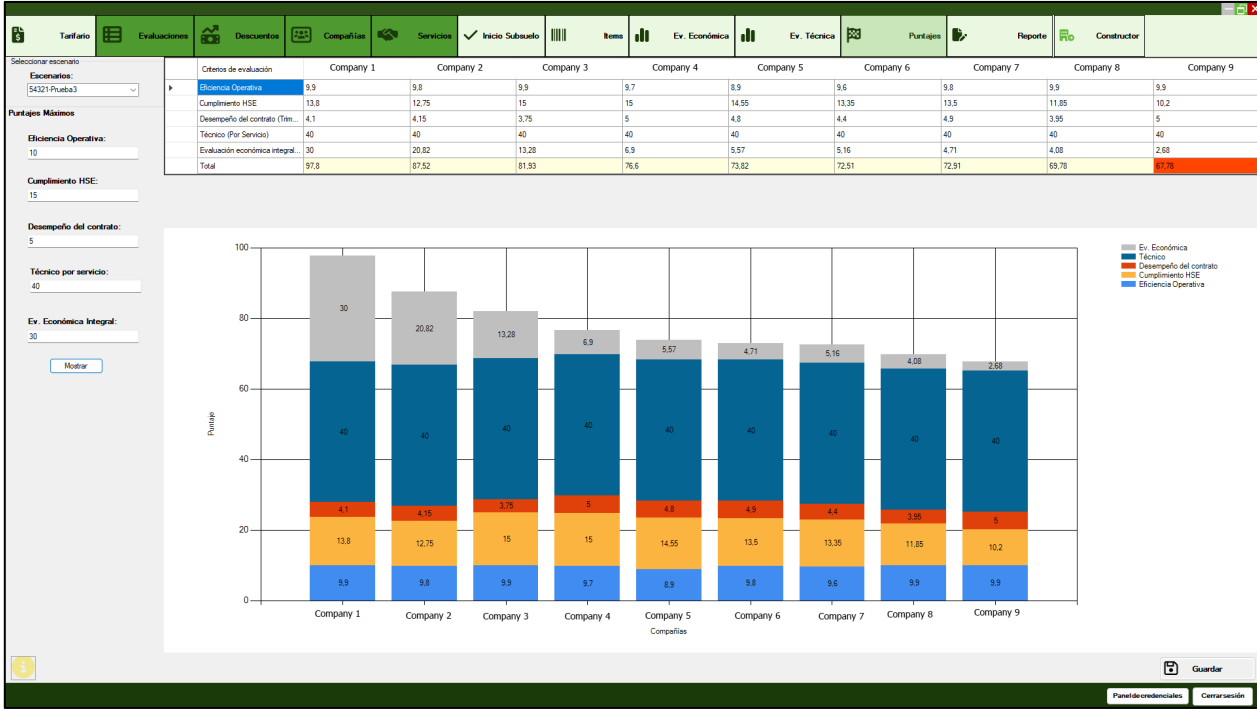
Puntaje total: el puntaje integral de cada compañía se calcula como la suma de los cinco puntajes dimensionales:

$$Score_j = Puntaje_{eo,j} + Puntaje_{hse,j} + Puntaje_{contrato,j} + Puntaje_{tec,j} + Puntaje_{eco,j} \quad (10.21)$$

El sistema aplica automáticamente un código de color sobre la fila **Total** de la tabla de resultados para facilitar la interpretación visual: color verde (*GreenYellow*) para la compañía con el puntaje más alto, color rojo (*OrangeRed*) para la compañía con el puntaje más bajo, y color amarillo claro (*LightYellow*) para las compañías con puntajes intermedios.

El panel superior derecho presenta la tabla consolidada de puntajes con una fila por criterio y una columna por compañía participante. El panel inferior derecho presenta el gráfico de barras apiladas que visualiza la contribución de cada dimensión al puntaje total de cada compañía, ordenadas de mayor a menor puntaje total de izquierda a derecha.

Figura 16. Pestaña Puntajes — configuración de pesos, cálculo de puntajes integrales y visualización por criterio.



Fuente: Elaboración propia

La Figura 16 ilustra el resultado del escenario **54321-Prueba3** con los pesos configurados como: Eficiencia Operativa = 10, Cumplimiento HSE = 15, Desempeño del contrato = 5, Técnico por servicio = 40 y Ev. Económica Integral = 30, sumando exactamente 100 puntos. Los resultados muestran que Company 1 obtiene el puntaje más alto con 97,8 puntos —destacada como la primera de izquierda a derecha—, mientras que Company 9 obtiene el puntaje más bajo con 67,78 puntos —destacada en rojo—. El gráfico de barras apiladas permite observar la contribución diferencial de cada dimensión al puntaje final de cada compañía, evidenciando que la dimensión técnica —barra azul oscuro con valor 40— resulta homogénea entre todas las compañías del escenario, mientras que la dimensión económica integral —barra gris— es el principal factor diferenciador entre ellas, con Company 1 obteniendo 30 puntos frente a los 2,68 puntos de Company 9 en esta dimensión. (Ver Anexo E)

10.3.14 Pestaña Reporte. La pestaña Reporte constituye el quinto y último paso del proceso de evaluación integral de WellRank y es el módulo responsable de generar el documento formal de trazabilidad y evidencia del proceso de evaluación ejecutado. El reporte exportado constituye el entregable oficial del interventor ante la gerencia o departamento solicitante, consolidando en un único documento los resultados de todas las dimensiones evaluadas durante el proceso.

La pantalla del módulo, presentada en la Figura 17, se organiza en dos secciones. El panel izquierdo provee los campos de configuración del reporte con los siguientes parámetros:

Escenario: selector del escenario activo sobre el cual se generará el reporte, que determina el conjunto de datos que se consolidan en el documento exportado.

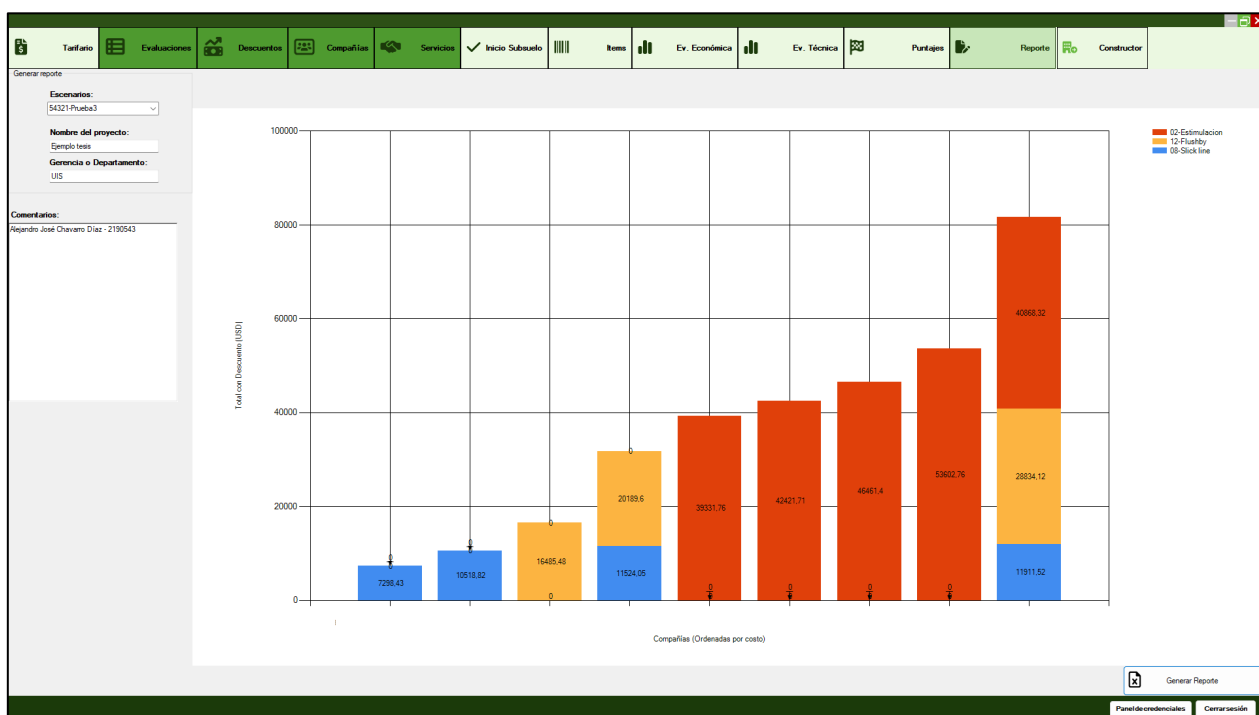
Nombre del proyecto: campo de texto libre donde el interventor ingresa el nombre del proyecto o pozo al que corresponde la evaluación, garantizando la identificación unívoca del reporte dentro del archivo de gestión de la compañía operadora.

Gerencia o Departamento: campo de texto que registra la dependencia organizacional solicitante de la evaluación, estableciendo la cadena de custodia documental del proceso.

Comentarios: campo de texto libre para observaciones adicionales del interventor sobre el proceso de evaluación, condiciones particulares del escenario o justificaciones de decisiones tomadas durante la evaluación.

El botón Generar Reporte, ubicado en la esquina inferior derecha junto al ícono de archivo Excel, ejecuta la exportación del documento.

Figura 17. Pestaña Reporte — configuración y vista previa del reporte de evaluación integral.



Fuente: Elaboración propia

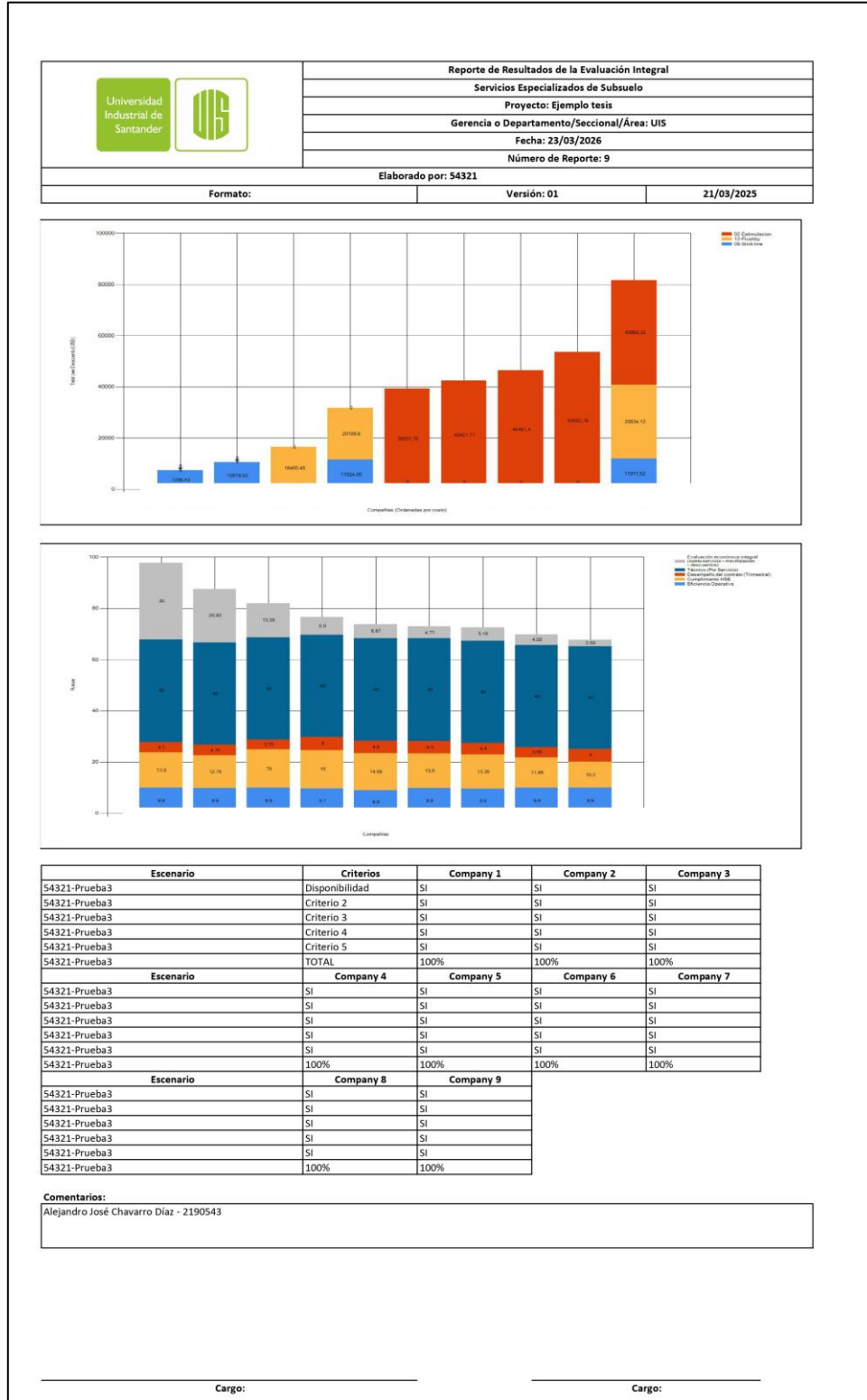
El reporte exportado por *WellRank* se genera en formato Excel y se estructura en dos hojas de trabajo, como se presenta en la Figura 18:

Hoja 1. Resultados de la Evaluación Integral: contiene el encabezado institucional con los logos de la Universidad Industrial de Santander, el nombre del proyecto, la gerencia o departamento, la fecha de generación, el número de reporte y el código del elaborador. El cuerpo del reporte presenta en orden secuencial los siguientes elementos:

- **Gráfico de Evaluación Económica:** gráfico de barras apiladas con los costos totales con descuento por compañía, ordenadas de menor a mayor costo, con diferenciación visual por servicio mediante código de colores. Este gráfico reproduce el resultado de la pestaña Evaluación Económica y permite a la gerencia identificar de forma inmediata las compañías más competitivas en precio para cada servicio del escenario.
- **Gráfico de Puntajes Integrales:** gráfico de barras apiladas con los puntajes finales por compañía y su descomposición por dimensión de evaluación —Eficiencia Operativa, Cumplimiento HSE, Desempeño del contrato, Técnico y Evaluación Económica Integral— ordenadas de mayor a menor puntaje. Este gráfico reproduce el resultado de la pestaña Puntajes y presenta la recomendación técnica del proceso de evaluación multicriterio.

- **Tabla de criterios técnicos:** tabla consolidada con el resultado de la evaluación técnica por compañía y por criterio, mostrando el cumplimiento de los cinco criterios evaluados —Disponibilidad, Criterio 2, Criterio 3, Criterio 4 y Criterio 5— con sus respuestas Sí/No y el porcentaje total acumulado por compañía. La tabla se presenta con las compañías distribuidas en grupos horizontales para facilitar la lectura cuando el número de participantes supera el ancho de la página.
- **Comentarios:** sección al pie de la primera hoja donde se registran las observaciones del interventor ingresadas en el campo de comentarios de la pestaña Reporte, junto con el nombre y código del elaborador del documento.
- **Hoja 2. Ítems del Escenario:** contiene exclusivamente la tabla completa de los ítems cargados en el escenario de evaluación, con sus códigos de herramienta, cantidades, descripciones y unidades de medida. Esta hoja constituye el respaldo técnico del alcance evaluado, permitiendo la verificación y auditoría posterior del proceso mediante la confrontación de los ítems evaluados contra los contratos marco vigentes de cada compañía participante. (Ver Anexo H)
- La estructura del reporte garantiza la trazabilidad completa del proceso de evaluación desde los insumos —ítems y cantidades de la Hoja 2— hasta los resultados —gráficos y tabla de criterios de la Hoja 1— en un único documento de fácil lectura para perfiles técnicos y gerenciales, cumpliendo el requerimiento de estandarización y auditoría identificado en el análisis de requerimientos. (Ver Anexos F, G y H)

Figura 18. Reporte de evaluación integral generado por WellRank en formato Excel



Fuente: Elaboración propia

10.4 VALIDACIÓN Y VERIFICACIÓN

10.4.1 Estrategia de validación y verificación. La validación y verificación de *WellRank* se estructuró siguiendo la distinción conceptual establecida por el estándar IEEE 1012 entre los dos procesos complementarios que conforman esta etapa del desarrollo de software: la verificación, orientada a confirmar que el sistema fue construido correctamente respecto a sus especificaciones técnicas y modelo matemático, y la validación, orientada a confirmar que el sistema construido resuelve efectivamente el problema real para el cual fue concebido.

Esta distinción es relevante en el contexto de *WellRank* dado que el sistema no es un producto de propósito general sino una herramienta especializada cuya corrección técnica y pertinencia práctica deben evaluarse de forma independiente: un sistema puede calcular correctamente según su modelo matemático interno y aun así no responder a las necesidades reales del interventor, o inversamente, puede ser percibido como útil por los usuarios sin que su modelo matemático sea riguroso.

La estrategia se estructura en tres componentes ejecutados de forma secuencial:

Componente 1. Verificación de coherencia matemática: tiene como objetivo confirmar que el motor de cálculo de *WellRank* implementa correctamente el modelo matemático definido en la sección 10.2.5. Para ello se diseñó un ejercicio de validación paralela en el que el mismo escenario de evaluación fue procesado de forma independiente mediante el proceso manual en hoja de cálculo Excel y mediante el módulo de Evaluación Económica de *WellRank*, comparando los resultados obtenidos por ambos métodos en términos de subtotales por ítem, restricción de factibilidad y totales por compañía.

IEEE. IEEE Standard for System, Software, and Hardware Verification and Validation. IEEE Std 1012-2016. Nueva York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017. DOI: 10.1109/IEEESTD.2017.7930194

Componente 2. Validación con expertos del sector: tiene como objetivo confirmar que *WellRank* resuelve efectivamente el problema de evaluación integral de servicios de subsuelo tal como se presenta en la práctica real de la interventoría de operaciones en el sector *upstream* colombiano. Para ello se realizó una sesión de evaluación con interventores activos del sector con experiencia en el proceso de evaluación manual, quienes operaron el sistema sobre escenarios representativos y respondieron un instrumento de entrevista estructurada en tres bloques: caracterización del proceso manual actual, evaluación de la correspondencia funcional de *WellRank* con ese proceso, y percepción de valor agregado del sistema. Este componente responde a la pregunta de validación: *¿resuelve WellRank el problema correcto?*

Componente 3. Evaluación de usabilidad: tiene como objetivo verificar que la interfaz de *WellRank* permite al interventor operar el sistema de forma autónoma sin requerir capacitación técnica especializada, y que el reporte generado tiene el nivel de detalle y formalidad requerido para ser presentado ante la gerencia o departamento solicitante. Este componente complementa la validación funcional con una dimensión de experiencia de usuario, evaluando si el sistema no solo resuelve el problema correcto sino si lo resuelve de una forma que el usuario puede adoptar en su flujo de trabajo real.

Tabla 10. Estrategia de validación y verificación de *WellRank*

Componente	Instrumento	Pregunta que responde	Sección
Verificación matemática	Validación paralela Excel vs. <i>WellRank</i>	¿Calcula correctamente?	10.4.2
Validación expertos	con Entrevista estructurada con interventores	¿Resuelve el problema correcto?	10.4.3
Evaluación usabilidad	de Instrumento de evaluación de usabilidad	¿Es operable de forma autónoma?	10.4.4

Fuente: Elaboración propia

Es necesario precisar el alcance de la presente estrategia de validación y verificación. La verificación matemática descrita en el Componente 1 se circunscribe al módulo de Evaluación Económica, dado que los criterios de evaluación técnica, sus ponderaciones y los valores de referencia empleados en los módulos de Evaluación Técnica y Puntajes corresponden a información confidencial de la compañía operadora y no pueden ser divulgados en un documento de carácter público. No obstante, la estructura del modelo multicriterio implementado en *WellRank* para estos módulos fue revisada por los expertos del sector que participaron en la validación funcional descrita en la sección 10.4.3, quienes confirmaron su correspondencia con el proceso estándar aplicado en la práctica real de la interventoría de operaciones de subsuelo.

10.4.2 Validación comparativa del proceso de evaluación. Con el propósito de verificar la coherencia matemática del modelo implementado en *WellRank* respecto al proceso de evaluación manual preexistente, se ejecutó un ejercicio de validación paralela sobre el escenario **54321-ValidacionTesis3**, compuesto por 36 ítems distribuidos en cinco servicios de subsuelo: Registros de Producción, Slick line, Flushby y Herramientas, con sus respectivas movilizaciones asociadas, tal como se presenta en la Tabla 11. El mismo conjunto de ítems y cantidades fue procesado de forma independiente mediante el proceso manual en hoja de cálculo Excel —instrumento preexistente al desarrollo de *WellRank* en el sector— y mediante el módulo de Evaluación Económica de *WellRank*, comparando los resultados obtenidos por ambos métodos.

10.4.2.1 Validación del cálculo PxQ. El proceso manual en Excel implementa el cálculo del producto precio por cantidad $\sum P_{jk} \cdot Q_k$ mediante fórmulas de multiplicación directa celda a celda, con una columna por compañía y una fila por ítem, registrando cero en las celdas correspondientes a ítems sin tarifa disponible para esa compañía. El total global por compañía se obtiene sumando todas las filas de la columna correspondiente, incluyendo los ceros de los ítems sin cobertura.

Para verificar la concordancia numérica entre ambos procesos, se tomó como caso de referencia la compañía Company 1 para el servicio Slick line, cuyos tres ítems presentan tarifa disponible en ambos instrumentos. La suma de los productos precio por cantidad obtenida en el Excel manual arroja:

$$\sum_{k \in SLL} P_{1k} * Q_k = 1.436,86 + 2.169,38 + 117,45 = 3.723,69 \text{ USD} \quad (10.22)$$

En la figura 19 está cargada la pestaña Ítems, donde comprobamos los ítems que se cargaron en el escenario de prueba y validación, véase el Anexo I para ver la lista de ítems o códigos de herramientas utilizados y cargados en esta pestaña.

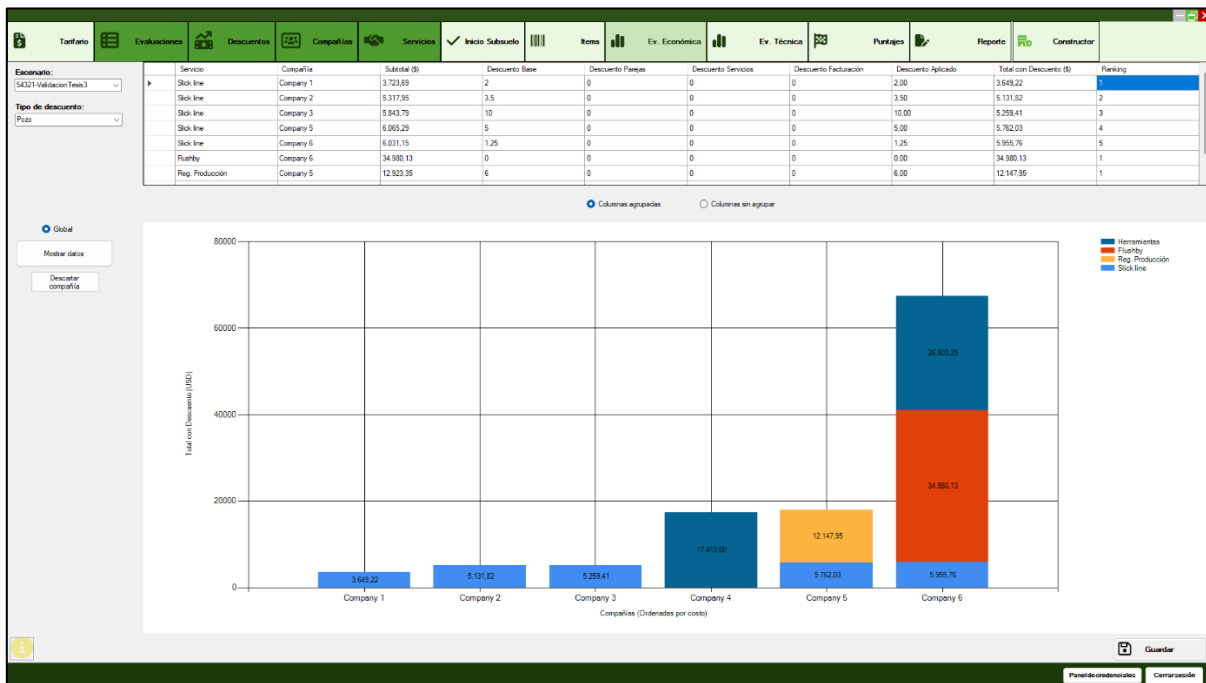
La figura 20 tiene la pestaña de Evaluación Económica, aquí puede comprobarse el subtotal, antes del descuento, para el servicio de Slick Line de la Company 1, que coincide con el subtotal, realizando la suma, del ejercicio manual presentado posteriormente en la figura 21.

Figura 19. Escenario 54321-ValidacionTesis3, pestaña Ítems

Servicio	Cod. Herramienta	Cantidad	Descripción	Unidad
Reg. Producción	REE-1-121GPA/PPHR	3431.3	Multiplex Cablear Cargo por profundidad. Medición de comsión	Pe
Reg. Producción	REE-1-122GPA/PPHR	3431.3	Multiplex Cablear Cargo por registro	Pe
Reg. Producción	REE-C-37GPA/PPHR	3431.3	Registro Electromagnético - Cargo Por Profundidad	Pe
Reg. Producción	REE-C-38GPA/PPHR	3431.3	Registro Electromagnético para un Tubular - Cargo Por Registro	Pe
Reg. Producción	REE-1-89GPA/PPHR	3474.9	CBL-VOL-GRCCCL. Cargo por profundidad	Pe
Reg. Producción	REE-1-90GPA/PPHR	3474.9	CBL-VOL-GRCCCL. Cargo por registro	Pe
Reg. Producción	REE-7-40GPA/PPHR	1	Interpretación registro de comsión - Cálculo de desgaste. pres.	Pe
Reg. Producción	MOV8-REE-3344	1	Unidad de Registros (Incluye Personal) / TARIFA BASE 10 KM	TARIFA BASE 10 KM

Fuente: Elaboración propia

Figura 20. Escenario 54321-ValidacionTesis3, pestaña Ev. Económica



Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Evidencia de servicio Slick Line proceso manual

	A	B	C	D	E	F	G	H
	Códigos	Cantidades	Company 1	Company 2	Company 3	Company 4	Company 5	Company 6
2	SVC-REE-U-01	3431,3	0	0	0	0	1,09	1,09
3	SVC-REE-U-02	3431,3	0	0	0	0	1,13	1,09
4	SVC-REE-C-01	3431,3	0	0	0	0	1,56	0,86
5	SVC-REE-C-02	3431,3	0	0	0	0	0	0,86
6	SVC-REE-U-03	3474,9	0	0	0	0	0,48	0,54
7	SVC-REE-U-04	3474,9	0	0	0	0	0,49	0,54
8	SVC-REE-C-03	1	0	0	0	0	0	0,64
9	SVC-MOV-B-01	1	132,22	746,79	390	0	124,51	415,74
10	SVC-MOV-B-02	20	13,23	9,33	10,75	0	5,97	20,79
11	SVC-REP-C-01	1	0	0	0	0	5144,77	0
12	SVC-REP-U-01	3156	0	0	0	0	0,26	0
13	SVC-REP-U-02	3156	0	0	0	0	0,25	0
14	SVC-REP-U-03	3156	0	0	0	0	0,18	0
15	SVC-REP-U-04	3156	0	0	0	0	0,25	0
16	SVC-REP-U-05	3156	0	0	0	0	0,22	0
17	SVC-REP-U-06	3156	0	0	0	0	0,25	0
18	SVC-REP-U-07	3156	0	0	0	0	0,17	0
19	SVC-REP-U-08	3156	0	0	0	0	0,25	0
20	SVC-REP-C-02	1	0	0	0	0	2003,1	0
21	SVC-SLL-U-01	1	1436,86	2001,51	0	0	2346,1	2206,26
22	SVC-SLL-U-02	1	2169,38	2987,59	0	0	3390,34	3303,25
23	SVC-SLL-C-01	1	117,45	328,85	0	0	328,85	521,64
24	SVC-FLB-C-01	1	0	0	0	0	0	3606,71
25	SVC-FLB-C-02	1	0	0	0	0	0	2539,3
26	SVC-FLB-U-01	2006,2	0	0	0	0	0,94	1,27
27	SVC-FLB-C-03	1	0	0	0	0	2620,02	3355,38
28	SVC-HER-U-01	2	0	0	0	1109,96	0	1091,08
29	SVC-HER-U-02	2	0	0	0	1513,58	0	1948,52
30	SVC-HER-U-03	2	0	0	0	992,32	0	1684,1
31	SVC-HER-U-04	2	0	0	0	917,91	0	1684,1
32	SVC-HER-U-05	2	0	0	0	595,4	0	1442,78
33	SVC-HER-U-06	2	0	0	0	2381,59	0	3585,25
34	SVC-HER-U-07	2	0	0	0	173,67	0	215,1
35	SVC-HER-C-01	1	0	0	0	1736,57	0	3592,07
36	SVC-HER-U-08	2	0	0	0	684,71	0	838,16
37	SVC-HER-U-09	2	0	0	0	24,81	0	40,98
38	TOTAL	47978,2	7592,83	11392,02	5673,22	26704,4	22041,22	65445,11
39								
40								
41			Company 1	Company 2	Company 3	Company 4	Company 5	Company 6
42	Reg. Producción		FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADERO	FALSO
43	Slick Line		VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO	FALSO	VERDADERO	VERDADERO
44	Flushby		FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADERO
45	Herramientas		FALSO	FALSO	FALSO	VERDADERO	FALSO	VERDADERO

Fuente: Elaboración propia

La Figura 21 presenta la hoja de cálculo del proceso manual con las celdas correspondientes a Company 1 para el servicio Slick line resaltadas, evidenciando los valores individuales de cada ítem que al sumarse arrojan el subtotal de USD 3.723,69. La Figura 22 presenta la tabla de resultados de la Evaluación Económica en WellRank para el mismo escenario, donde la fila de Company 1 Slick line registra el mismo subtotal de USD 3.723,69 antes de la aplicación del descuento base del 2%, confirmando la concordancia exacta entre ambos métodos con $\Delta=0,00$.

Figura 22. Evaluación Económica en WellRank, evidencia para servicio Slick Line sin descuento

Servicio	Compañía	Subtotal (\$)	Descuento Base	Descuento Parejas	Descuento Servicios	Descuento Facturación	Descuento Aplicado	Total con Descuento (\$)
Slick line	Company 1	3.723,69	2	0	0	0	2,00	3.649,22
Slick line	Company 2	5.317,95	3,5	0	0	0	3,50	5.131,82
Slick line	Company 3	5.843,79	10	0	0	0	10,00	5.259,41
Slick line	Company 5	6.065,29	5	0	0	0	5,00	5.762,03
Slick line	Company 6	6.031,15	1,25	0	0	0	1,25	5.955,76
Ruahby	Company 6	34.980,13	0	0	0	0	0,00	34.980,13
Reg. Producción	Company 5	12.923,35	6	0	0	0	6,00	12.147,95

Fuente: Elaboración propia

10.4.2.2 Validación de la restricción de factibilidad. Las Tablas 11 y 12 presentan la verificación de la restricción de factibilidad $F_j = \prod_{k=1}^m \delta_{jk}$ para las seis compañías evaluadas en los cuatro servicios del escenario de validación. El proceso manual en Excel implementa esta restricción mediante fórmulas lógicas que devuelven VERDADERO cuando la compañía dispone de tarifa para la totalidad de los ítems requeridos por el servicio, y FALSO en caso contrario. WellRank implementa la misma restricción mediante el filtro de factibilidad descrito en la sección 10.3.11, excluyendo automáticamente del cálculo las combinaciones compañía-servicio que no satisfacen $F_j=1$.

Tabla 11. Compañías incluidas en la verificación de factibilidad

Servicio	Compañía	Excel manual	WellRank	Concordancia
Slick line	Company 1	VERDADERO	Incluida	<input checked="" type="checkbox"/>
Slick line	Company 2	VERDADERO	Incluida	<input checked="" type="checkbox"/>
Slick line	Company 3	VERDADERO	Incluida	<input checked="" type="checkbox"/>
Slick line	Company 5	VERDADERO	Incluida	<input checked="" type="checkbox"/>
Slick line	Company 6	VERDADERO	Incluida	<input checked="" type="checkbox"/>
Flushby	Company 6	VERDADERO	Incluida	<input checked="" type="checkbox"/>
Reg. Producción	Company 5	VERDADERO	Incluida	<input checked="" type="checkbox"/>
Herramientas	Company 4	VERDADERO	Incluida	<input checked="" type="checkbox"/>
Herramientas	Company 6	VERDADERO	Incluida	<input checked="" type="checkbox"/>

Fuente: Elaboración propia

La tasa de concordancia en la validación de factibilidad es del 100%, con 24 de 24 combinaciones compañía-servicio clasificadas de forma idéntica por ambos métodos. (Ver Anexos J e I)

Tabla 12. Compañías no incluidas en la verificación de factibilidad

Servicio	Compañía	Excel manual	WellRank	Concordancia
Slick line	Company 4	FALSO	Excluida	<input checked="" type="checkbox"/>
Flushby	Company 1	FALSO	Excluida	<input checked="" type="checkbox"/>
Flushby	Company 2	FALSO	Excluida	<input checked="" type="checkbox"/>
Flushby	Company 3	FALSO	Excluida	<input checked="" type="checkbox"/>
Flushby	Company 4	FALSO	Excluida	<input checked="" type="checkbox"/>
Flushby	Company 5	FALSO	Excluida	<input checked="" type="checkbox"/>
Reg. Producción	Company 1	FALSO	Excluida	<input checked="" type="checkbox"/>
Reg. Producción	Company 2	FALSO	Excluida	<input checked="" type="checkbox"/>
Reg. Producción	Company 3	FALSO	Excluida	<input checked="" type="checkbox"/>
Reg. Producción	Company 4	FALSO	Excluida	<input checked="" type="checkbox"/>
Reg. Producción	Company 6	FALSO	Excluida	<input checked="" type="checkbox"/>
Herramientas	Company 1	FALSO	Excluida	<input checked="" type="checkbox"/>
Herramientas	Company 2	FALSO	Excluida	<input checked="" type="checkbox"/>
Herramientas	Company 3	FALSO	Excluida	<input checked="" type="checkbox"/>
Herramientas	Company 5	FALSO	Excluida	<input checked="" type="checkbox"/>

Fuente: Elaboración propia

10.4.2.3 Limitaciones del proceso manual identificadas durante la validación. El ejercicio de validación paralela permitió identificar cuatro limitaciones estructurales del proceso manual en Excel respecto a *WellRank*, presentadas en la Tabla 13:

Tabla 13. Comparación estructural entre el proceso manual en Excel y WellRank.

Dimensión	Proceso manual en Excel	<i>WellRank</i>
Desglose de resultados	Total, global por compañía sin desglose por servicio	Subtotal y ranking independiente por cada servicio
Visualización	Solo tabla de valores numéricos	Gráfico de barras agrupadas o sin agrupar con etiquetas automáticas
Ranking	Ordenamiento manual por el interventor	Ranking recalculado automáticamente en tiempo real tras cada modificación
Descuentos	Calculados y aplicados manualmente por el interventor en celda separada	Integrados automáticamente desde el módulo de Descuentos con recálculo en tiempo real

Fuente: Elaboración propia

Estas limitaciones no invalidan la precisión del proceso manual —cuya coherencia matemática fue confirmada por la validación del PxQ— sino que evidencian las brechas en eficiencia operativa, trazabilidad y soporte a la decisión que *WellRank* resuelve mediante su arquitectura integrada.

10.4.3 Validación con expertos del sector. La validación funcional de *WellRank* se realizó mediante una sesión de evaluación con un interventor activo del sector *upstream* colombiano, con experiencia directa en el proceso de evaluación integral de contratistas de servicios de subsuelo. La sesión consistió en la operación del sistema sobre escenarios representativos seguida de una entrevista estructurada en tres bloques: caracterización del proceso manual previo a *WellRank*, evaluación de la correspondencia funcional del sistema con ese proceso, y percepción del valor agregado de la herramienta.

Bloque 1. Proceso de evaluación previo a *WellRank*

Respecto al tiempo requerido para completar una evaluación integral sin *WellRank*, el experto señaló que el proceso tomaba entre tres y cinco horas, dependiendo de variables como la cantidad de ítems, el número de postulantes y la cantidad de servicios a evaluar simultáneamente. Esta estimación establece la línea base de eficiencia sobre la cual se evalúa el impacto de *WellRank*.

En cuanto a los aspectos más propensos a errores en el proceso manual, el experto identificó la digitación de los ítems como la principal fuente de error humano, dado que cada valor debía ingresarse manualmente sin mecanismos de validación automática. Adicionalmente, señaló que el proceso manual requería la generación de un archivo de Excel independiente por cada postulante evaluado, lo que implicaba la consolidación de múltiples archivos para obtener una visión comparativa del escenario, consumiendo tiempo adicional en cada consulta.

Bloque 2. Correspondencia funcional con el proceso real

El experto confirmó que el flujo de evaluación implementado en *WellRank* refleja fielmente el proceso realizado manualmente, permitiendo observar el paso a paso de la evaluación integral de forma más rápida y haciendo más efectivo el camino hacia el resultado. Respecto a los criterios de evaluación, confirmó que el sistema está configurado de modo que da cumplimiento a los criterios establecidos para este tipo de evaluación en la práctica real de la interventoría.

En relación con el tiempo requerido para completar la misma evaluación integral utilizando *WellRank*, el experto estimó que los ejercicios realizados durante la sesión permitieron evaluar la asignación de un servicio en aproximadamente 15 a 20 minutos, en comparación con las 3 a 5 horas del proceso manual. Esta reducción es posible gracias a que *WellRank* permite realizar la evaluación de todos los postulantes en paralelo dentro de un mismo escenario, eliminando la necesidad de archivos independientes por postulante. El experto destacó adicionalmente que el sistema permite evaluar más de un servicio de forma simultánea dentro del mismo escenario, lo que representa una capacidad que el proceso manual no ofrecía.

Tabla 14. Comparación de eficiencia entre el proceso manual y *WellRank*.

Indicador	Proceso manual	WellRank	Mejora
Tiempo por evaluación	3 — 5 horas	15 — 20 minutos	~90% reducción
Archivos por escenario	Uno por postulante	Único escenario	por Consolidación total
Evaluación en paralelo	No disponible	Disponible	<input checked="" type="checkbox"/>
Evaluación multiservicio	No disponible	Disponible	<input checked="" type="checkbox"/>
Validación de digitación	Manual	Automática	<input checked="" type="checkbox"/>

Fuente: Elaboración propia a partir de la entrevista de validación

10.4.4 Evaluación de usabilidad.

Navegación e interfaz: Respecto a la navegación del sistema, el experto la calificó como bastante práctica, destacando la presencia de botones de navegación secuencial en cada etapa del proceso, el uso de colores claros, instrucciones precisas y botones de ayuda disponibles en cada pestaña. Estos elementos permiten al usuario orientarse dentro del flujo de evaluación sin necesidad de recurrir a documentación externa durante la operación.

Curva de aprendizaje: En cuanto a la necesidad de capacitación previa, el experto indicó que es necesario conocer la fuente de información, el paso a paso del proceso de evaluación y la función de cada botón o pestaña del sistema para poder llegar al resultado. Este hallazgo indica que *WellRank* no es un sistema de operación completamente intuitiva sin contexto previo, sino que requiere una inducción inicial al proceso de evaluación integral, lo cual es consistente con la naturaleza especializada del dominio de aplicación. Una vez completada esta inducción, el sistema puede operarse de forma autónoma.

Reporte de resultados: Respecto al reporte generado al finalizar la evaluación, el experto confirmó que cumple con los criterios exigidos por la normativa aplicable y ofrece los resultados desde múltiples perspectivas: gráfica, cualitativa y cuantitativa. Señaló que el nivel de detalle es suficiente para soportar la decisión de asignación de un servicio con mayor seguridad, basándose en los resultados de las evaluaciones integrales.

Recomendación de uso: El experto recomendó el uso de *WellRank* de forma categórica, destacando que es una herramienta práctica, de fácil aplicación para el proceso de asignación de servicios, que reduce tiempos y permite visualizar información más precisa que el proceso manual. Esta recomendación constituye el respaldo externo más directo a la pertinencia y utilidad del sistema desarrollado.

Tabla 15. Resumen de la evaluación de usabilidad de *WellRank*

Dimensión	Hallazgo	Valoración
Navegación	Práctica, botones secuenciales, colores claros, ayuda por pestaña	Satisfactoria
Curva de aprendizaje	Requiere inducción inicial al proceso	Aceptable
Reporte	Cumple normativa, perspectivas múltiples	Satisfactorio
Recomendación	Recomendación categórica de uso	Validado

Fuente: Elaboración propia a partir de la entrevista de validación

11. RESULTADOS

El presente capítulo expone los resultados obtenidos del desarrollo e implementación de WellRank, organizados en correspondencia con los objetivos específicos planteados en el presente trabajo. Los resultados se presentan en tres dimensiones: el sistema de evaluación multicriterio implementado, la herramienta software desarrollada y el impacto medido sobre el proceso de evaluación integral de contratistas de servicios de subsuelo.

11.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y SELECCIÓN DEL NODO DE SUBSUELO

El primer objetivo específico, orientado a la revisión bibliográfica de los nodos dentro del segmento upstream en la industria de los hidrocarburos, produjo como resultado la identificación y justificación del nodo de intervención sobre el cual se concentra *WellRank*. A partir del análisis comparativo de los nodos del segmento upstream en función de cuatro criterios determinantes (frecuencia de contratación de servicios especializados, complejidad del proceso de evaluación multicriterio, impacto económico del desempeño deficiente de los contratistas y magnitud de la brecha tecnológica en las herramientas de evaluación disponibles) se determinó que las operaciones de subsuelo constituyen el nodo de mayor pertinencia para el desarrollo de una herramienta de evaluación integral.

Este resultado sustenta la delimitación del alcance funcional de *WellRank* al proceso de evaluación y selección de contratistas de servicios de subsuelo en el sector upstream colombiano, descartando otros nodos de la cadena de valor cuyas características no justificaban el mismo nivel de intervención tecnológica.

11.2 SISTEMA DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO

El segundo objetivo específico, orientado a implementar un sistema de evaluación de criterios técnicos y económicos que soporte una adecuada selección y toma de decisiones, produjo como resultado el modelo multicriterio que constituye el núcleo

funcional de *WellRank*. El sistema integra tres dimensiones de evaluación interdependientes:

Evaluación económica: calcula el costo total por compañía considerando subtotales por ítem, tres tipos de descuento aplicables —descuento base, descuento por facturación y descuento por parejas— y la restricción de factibilidad que determina si una compañía cumple los requisitos mínimos para participar en la evaluación de un servicio específico. La verificación matemática del módulo, presentada en la sección 10.4.2, confirmó una concordancia del 100% entre los resultados calculados por *WellRank* y los obtenidos mediante el proceso manual en hoja de cálculo Excel en la totalidad de los casos evaluados.

Evaluación técnica: puntúa el desempeño histórico y la capacidad técnica de cada compañía según los criterios definidos por la compañía operadora, integrando al modelo la dimensión cualitativa del desempeño del contratista más allá del factor económico.

Puntajes: consolida las dimensiones económica y técnica en un indicador numérico final que permite comparar y clasificar a los contratistas participantes, produciendo una recomendación objetiva y trazable de selección.

El sistema soporta la evaluación simultánea de hasta 15 servicios de subsuelo actualmente configurados, sin límite definido en el número de compañías evaluables por escenario, y permite evaluar más de un servicio de forma simultánea dentro del mismo escenario, capacidad no disponible en el proceso manual previo.

11.3 HERRAMIENTA SOFTWARE

El tercer objetivo específico, orientado a desarrollar la herramienta software que integre el sistema de evaluación permitiendo la digitalización, registro y análisis eficiente de la información, produjo como resultado *WellRank*: una aplicación de escritorio desarrollada en C# sobre el framework .NET con interfaz gráfica implementada en WinForms mediante Visual Studio 2022. La estrategia de persistencia adoptada utiliza archivos Excel como

mecanismo de almacenamiento centralizado, decisión condicionada por las restricciones tecnológicas del entorno operativo del sector upstream colombiano, que impiden la instalación de motores de bases de datos relacionales o software no autorizado en los equipos corporativos, y por la ausencia de conectividad permanente a internet en los entornos de campo, que descartó cualquier arquitectura cliente-servidor o solución basada en la nube. El despliegue de la aplicación es local en el equipo de escritorio del interventor, garantizando operatividad plena en condiciones de conectividad limitada.

La herramienta implementa un flujo de evaluación estructurado en seis módulos secuenciales:

Constructor → *Ítems* → *Ev.Económica* → *Ev.Técnica* → *Puntajes* → *Reporte*
(*Opcional*)

El módulo Constructor es de carácter opcional y permite al usuario generar los ítems del escenario desde el sistema; si el usuario dispone de los ítems previamente construidos puede ingresar directamente al módulo de Ítems. Los módulos restantes son secuenciales y conducen al usuario de forma guiada hasta la generación del reporte final.

El reporte generado por *WellRank* se exporta en formato Excel y se estructura en dos hojas:

Hoja 1. Resultados de la evaluación:

- Gráfico de la evaluación económica por compañía
- Gráfico de los puntajes consolidados por compañía
- Tabla de criterios técnicos evaluados
- Campo de comentarios opcionales del interventor

Hoja 2. Detalle del escenario:

- Tabla de ítems y códigos de herramienta cargados en el escenario evaluado

Este reporte fue confirmado por el experto participante en la validación como suficiente en nivel de detalle y formato para ser presentado ante la gerencia o departamento solicitante, cumpliendo con los criterios exigidos por la normativa aplicable y ofreciendo los resultados desde perspectivas gráfica, cualitativa y cuantitativa.

12. CONCLUSIONES

El presente capítulo sintetiza los hallazgos y aprendizajes derivados del desarrollo, implementación y validación de *WellRank*, en correspondencia con el objetivo general, los objetivos específicos y la pregunta de investigación que aparece en el planteamiento del problema.

La revisión bibliográfica de los nodos del segmento *Upstream* colombiano permitió identificar que los servicios de subsuelo constituyen uno de los nodos de mayor pertinencia para el desarrollo de una herramienta de evaluación integral. Esta determinación se fundamentó en cuatro criterios concurrentes: la alta frecuencia de contratación de servicios especializados en este nodo, la complejidad inherente al proceso de evaluación multicriterio que involucra simultáneamente variables técnicas, económicas y de desempeño, el elevado impacto económico asociado al desempeño deficiente de los contratistas en operaciones de subsuelo, y la magnitud de la brecha tecnológica evidenciada en las herramientas de evaluación disponibles, limitadas a hojas de cálculo Excel sin capacidades de trazabilidad ni estandarización. Este análisis constituyó la base que delimitó el alcance funcional de *WellRank* y justificó su desarrollo como respuesta a una necesidad real y documentada del sector.

El sistema de evaluación multicriterio implementado en *WellRank* integra tres dimensiones interdependientes: la evaluación económica, que calcula el costo total por compañía considerando subtotales por ítem y tres tipos de descuento aplicables; la evaluación técnica, que pondera el desempeño histórico y la capacidad operativa de cada contratista; y la consolidación de puntajes, que produce un indicador numérico final comparable entre todos los postulantes de un escenario. La verificación matemática del modelo, realizada sobre 24 casos de prueba, confirmó una concordancia del 100% entre los resultados calculados por *WellRank* y los obtenidos mediante el proceso manual en hoja de cálculo, validando la correctitud del modelo implementado. La validación funcional con un interventor activo del sector *Upstream* confirmó que los criterios de evaluación implementados corresponden a los manejados en la práctica real y que el flujo del sistema refleja fielmente el proceso de evaluación integral.

WellRank demostró, mediante validación con un experto activo del sector, que reduce el tiempo requerido para completar una evaluación integral de entre 3 y 5 horas a aproximadamente 15 o 20 minutos, representando una disminución de aproximadamente el 90% en el tiempo operativo del interventor. Esta mejora se complementa con la eliminación de la gestión de múltiples archivos Excel independientes por postulante, la validación automática de la digitación, y la capacidad de evaluar múltiples servicios y compañías en paralelo dentro de un único escenario, capacidades no disponibles en el proceso manual previo. En conjunto, estos resultados demuestran que *WellRank* mejora de forma medible y verificada la trazabilidad, la eficiencia operativa y el soporte a la toma de decisiones en el proceso de asignación de servicios de subsuelo en el segmento *Upstream* colombiano.

La digitalización y optimización del sistema de evaluación que define la asignación de servicios en el nodo de subsuelo dentro del segmento *Upstream*, representa a su vez una disminución en las horas hombre que el interventor o usuario invierte en realizar una correcta evaluación y toma de decisiones, permitiendo que el usuario pueda canjear el tiempo optimizado en otras tareas específicas, como, por ejemplo, realizar verdadera ingeniería o centrarse en optimizar otras áreas de su interés.

WellRank fue desarrollado como una aplicación de escritorio en C# sobre el framework .NET con interfaz WinForms, desplegable localmente sin dependencia de conectividad a internet ni de motores de bases de datos relacionales, en respuesta a las restricciones tecnológicas y operativas del entorno *Upstream* colombiano. El sistema implementa un flujo estructurado en seis módulos secuenciales —Constructor, Ítems, Evaluación Económica, Evaluación Técnica, Puntajes y Reporte— y genera un reporte exportable en formato Excel con perspectivas gráfica, cualitativa y cuantitativa, confirmado por el experto del sector como suficiente en nivel de detalle para soportar decisiones de asignación ante la gerencia o departamento solicitante y conforme a los criterios exigidos por la normativa aplicable. La herramienta soporta actualmente 15 servicios de subsuelo configurados y permite evaluar un número ilimitado de compañías de forma simultánea dentro de un mismo escenario.

13. RECOMENDACIONES

Las siguientes recomendaciones se formulan a partir de los resultados obtenidos durante el desarrollo, implementación y validación de *WellRank*, y se organizan en dos categorías: las que se derivan directamente de los resultados del proyecto y aplican al tema estudiado, y las que orientan la continuación de la investigación y el desarrollo futuro de la herramienta.

Recomendaciones derivadas de los resultados del proyecto:

Carga de datos reales: Los servicios, compañías y tarifas actualmente configurados en *WellRank* corresponden a datos de testeo utilizados durante el desarrollo y la validación del sistema. Se recomienda que, previo a la implementación operativa de la herramienta, se realice la carga formal de los datos reales del portafolio de servicios, el directorio de compañías proveedoras y las tarifas contractuales vigentes, de modo que el sistema opere sobre información representativa del entorno real de interventoría.

Ampliación de la validación con usuarios: La validación funcional de *WellRank* se realizó con un interventor activo del sector y un único escenario de testeo, lo cual fue suficiente para confirmar la correspondencia del sistema con el proceso real. Sin embargo, para fortalecer la generalización de los resultados y la evaluación de usabilidad, se recomienda ampliar la validación a un mínimo de tres a cinco usuarios de distintas compañías operadoras, empleando escenarios de diferente complejidad en términos de número de servicios, número de compañías evaluadas y distintas configuraciones de pesos de criterios. Esta ampliación otorgaría mayor solidez estadística a los resultados de usabilidad y permitiría identificar comportamientos del sistema no observados en la validación inicial.

Verificación de los módulos técnico y de KPI: La verificación matemática con concordancia del 100% se realizó exclusivamente sobre el módulo de evaluación económica, dado que los criterios técnicos y sus ponderaciones son información confidencial de la compañía operadora participante en la validación, condición declarada explícitamente en el presente trabajo. Se recomienda que una versión futura del sistema incluya un conjunto de criterios técnicos y de KPI sintéticos, no confidenciales, que permitan demostrar y verificar formalmente la correctitud matemática del modelo completo y no únicamente de su componente económico, elevando el nivel de validación del sistema en su totalidad.

Recomendaciones para la continuación de la investigación:

Migración a una base de datos relacional: La adopción del archivo Excel como mecanismo de almacenamiento, aunque funcionalmente viable dentro de las restricciones del entorno operativo actual, representa la limitación técnica más significativa de la versión presente de WellRank. Se recomienda que versiones futuras incorporen una base de datos relacional embebida, como SQLite, que no requiere instalación de un motor independiente ni conectividad a internet y es compatible con aplicaciones de escritorio desarrolladas en el framework .NET.

Comparación entre escenarios: La versión actual de WellRank permite evaluar y generar el reporte de un escenario de forma individual. Se recomienda incorporar un módulo de comparación entre escenarios que permita contrastar los resultados de evaluaciones realizadas en diferentes períodos o bajo diferentes configuraciones de ítems, facilitando el análisis de tendencias en el desempeño de los contratistas a lo largo del tiempo y soportando decisiones de asignación con mayor perspectiva histórica.

Implementación de inteligencia artificial: El crecimiento del volumen de evaluaciones registradas en WellRank generará un activo de datos con alto potencial para la incorporación de modelos de inteligencia artificial, cuya implementación se recomienda en tres horizontes temporales:

En el corto plazo, incorporar un módulo de sugerencia automática de ítems frecuentes por tipo de servicio basado en el análisis de patrones de evaluaciones anteriores, reduciendo el tiempo de configuración del escenario y estandarizando los criterios entre diferentes interventores. Adicionalmente, integrar generación automática de comentarios narrativos en el reporte mediante procesamiento de lenguaje natural, que justifique la recomendación de asignación con base en los resultados cuantitativos obtenidos.

En el mediano plazo, desarrollar un modelo de predicción del puntaje técnico de las compañías basado en su historial de evaluaciones previas, y un módulo de detección de anomalías que alerte al interventor cuando el desempeño de una compañía se desvíe significativamente de su comportamiento histórico.

En el largo plazo, una vez consolidada la base de datos histórica, implementar un motor de recomendación inteligente que integre el puntaje actual con los patrones históricos de desempeño para producir recomendaciones de asignación con mayor robustez y trazabilidad.

Pruebas de estrés y escalabilidad: Durante el desarrollo y validación de WellRank no se estableció un límite máximo de compañías evaluables por escenario. Se recomienda realizar pruebas de estrés sistemáticas que determinen el comportamiento del sistema ante volúmenes altos de compañías, ítems y servicios simultáneos, identificando los umbrales de rendimiento y estableciendo recomendaciones operativas para el usuario en escenarios de alta complejidad.

BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH). *Acuerdo 003 de 2022, por el cual se adoptan criterios para la administración de contratos y convenios de actividades de exploración y explotación de hidrocarburos*. Bogotá D.C.: ANH, 2022. [Consultado: 1 de marzo de 2026].

----- . *Reglamento Técnico de Perforación, Completamiento y Abandono de Pozos*. Bogotá D.C.: ANH, 2015.

BLANCO, Juan David. *Diseño del sistema de gestión de evaluación de proveedores de la industria petrolera en la empresa Petrotiger Ltda., basado en la aplicación de la norma ISO 9001:2015 y NTC OHSAS 18001:2007*. Bogotá D.C.: Universidad Cooperativa de Colombia, 2016. [Consultado: 1 de marzo de 2026]. Disponible en: https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/8067/1/2016_evaluacion_proveedores_petrotiger.pdf

CAMPETROL. *Balance Petrolero 2019*. Bogotá D.C.: Cámara Colombiana de Bienes y Servicios Petroleros, 2019. Disponible en: <https://campetrol.org/wp-content/uploads/2023/09/BALANCE-PETROLERO-2019-final.pdf>

CHARNES, A.; COOPER, W. W. y RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. En: *European Journal of Operational Research*. Vol. 2, No. 6 (1978); pp. 429–444.

CHETU. *Software para la industria petrolera y de gas* [en línea]. [Consultado: 1 de marzo de 2026]. Disponible en: <https://www.chetu.com/es/oil-gas.php>

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. *Ley 80 de 1993, por la cual se expide el Estatuto General de Contratación de la Administración Pública*. Bogotá D.C.: Diario Oficial No. 41.094, 28 de octubre de 1993. Modificada por la Ley 1150 de 2007.

----- . *Ley 1341 de 2009, por la cual se definen principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones*. Bogotá D.C.: Diario Oficial No. 47.426, 30 de julio de 2009. Modificada por la Ley 1978 de 2019.

COLOMBIA. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA. *Decreto 1073 de 2015, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía*. Bogotá D.C.: Diario Oficial No. 49.523, 26 de mayo de 2015.

DICKSON, G. W. An analysis of vendor selection systems and decisions. En: *Journal of Purchasing*. Vol. 2 (1966); pp. 5–17.

HADZIHAFIZOVIC, Dzevad. *Well Intervention* [en línea]. ResearchGate, 2023. Disponible en: <https://www.researchgate.net/profile/Dzevad-Hadzihafizovic-2>

HWANG, Ching-Lai y YOON, Kwangsun. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Berlin: Springer-Verlag, 1981.

IEEE. *IEEE Standard for System, Software, and Hardware Verification and Validation. IEEE Std 1012-2016*. Nueva York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017. DOI: 10.1109/IEEESTD.2017.7930194

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). *NTC-ISO/IEC 25010. Ingeniería de sistemas y software. Requisitos y evaluación de calidad de sistemas y software (SQuaRE)*. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2013.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF DRILLING CONTRACTORS (IADC). *Drilling Manual*. 12th ed. Houston: IADC, 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 20400:2017 Sustainable Procurement — Guidance*. Geneva: ISO, 2017.

ISN. *ISNetworld: plataforma de gestión de contratistas* [en línea]. [Consultado: 1 de marzo de 2026]. Disponible en: <https://www.isnetworld.com/es>

KEENEY, Ralph L. y RAIFFA, Howard. *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-offs*. New York: John Wiley & Sons, 1976.

LAKE, Larry W. (ed.). *Petroleum Engineering Handbook. Volume IV: Production Operations Engineering*. Richardson, Texas: SPE, 2007.

MICROSOFT. *Documentación de C# y .NET* [en línea]. [Consultado: 1 de marzo de 2026]. Disponible en: <https://learn.microsoft.com/es-es/dotnet/csharp/>

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. *Informe de Gestión 2022*. Bogotá D.C.: Ministerio de Minas y Energía, 2022. p. 35. [Consultado: 1 de marzo de 2026]. Disponible en: <https://www.minenergia.gov.co/es/ministerio/gestion/procesos-y-procedimientos/comite-sectorial-de-gestion-y-desempeno/>

------. *Plan Estratégico de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones PETI 2024-2027*. Bogotá D.C.: Ministerio de Minas y Energía, 2024.

PANKO, Raymond R. What We Know About Spreadsheet Errors. En: *Journal of End User Computing*. Vol. 10, No. 2 (1998); pp. 15–21.

POWELL, Stephen G.; LAWSON, Barry y BAKER, Kenneth R. *Impact of Errors in Operational Spreadsheets*. EuSpRIG, 2007. p. 57. DOI: 10.48550/arXiv.0801.0715

SAATY, Thomas L. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. New York: McGraw-Hill, 1980.

SCHLUMBERGER. *Oilfield Glossary* [en línea]. Houston: SLB, 2024. [Consultado: 1 de marzo de 2026]. Disponible en: <https://glossary.slb.com>

SIMON, Herbert A. *The New Science of Management Decision*. New York: Harper & Row, 1960.

SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS (SPE). *Petroleum Engineering Handbook. Volume II: Drilling Engineering*. Richardson, Texas: SPE, 2006.

TRUJILLO MOYA, Guillermo. *Desarrollo de un modelo para la gestión de selección y evaluación de proveedores*. Bogotá D.C.: Universidad Militar Nueva Granada, 2022. [Consultado: 1 de marzo de 2026]. Disponible en: <https://repository.umng.edu.co/bitstream/handle/10654/43924/TrujilloMoyaGuillermo2022.pdf>

UNIVERSIDAD EAN. *Repositorio institucional: trabajos de grado en evaluación y selección de proveedores en el sector hidrocarburos*. Bogotá D.C.: Universidad EAN. [Consultado: 1 de marzo de 2026].

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. *Identidad institucional* [en línea]. Bucaramanga: UIS. [Consultado: 1 de marzo de 2026]. Disponible en: <https://uis.edu.co/identidad-institucional/>

WEBER, C. A.; CURRENT, J. R. y BENTON, W. C. Vendor selection criteria and methods. En: *European Journal of Operational Research*. Vol. 50, No. 1 (1991); pp. 2–18.

ANEXOS

Anexo A. Pantalla principal y barra de navegación de *WellRank*



Fuente: Elaboración propia

Anexo B. Pestaña Ítems — carga y gestión del escenario de evaluación

Selector de escenarios

Escenario: 54321-Prueba3

Seleccionar ítems y cantidades

Servicio:

Código herramienta:

Cantidad:

Registrar

Eliminar

Búsqueda por nombre o descripción

Nombre o descripción:

Cantidad:

Mostrar

+

Editar escenario

Servicio	Cod. Herramienta	Cantidad	Descripción	Unidad
Movilización	MOV-B-REE-3344	13	Unidad de Registros (Incluye Personal)	KM
Movilización	MOV-B-REE-3397	108	Unidad de Registros (Incluye Personal)	KM
Movilización	MOV-C-02	9	Escolta Militar (Ingreso o salida de locación) desde 1 y hasta 10 ...	Vaje
08-Slick line	SLL-1-1	2	Unidad de Slickline/Braided line en Operación según Especifica...	12 HORAS
08-Slick line	SLL-1-3	2	Unidad de Slickline/Braided line en Operación según Especifica...	24 HORAS
08-Slick line	SLLC-21	2	Redress Kit Standing Valve, Test Tool. (No incluidas en el Cargo ...	Global
Movilización	MOV-B-SL-3489	4	Unidad de Slick line (Incluye Personal)	KM
Movilización	MOV-B-SL-3542	60	Unidad de Slick line (Incluye Personal)	KM

Conteo: 25

¡Aún no se ha guardado el progreso!

Eliminar escenario

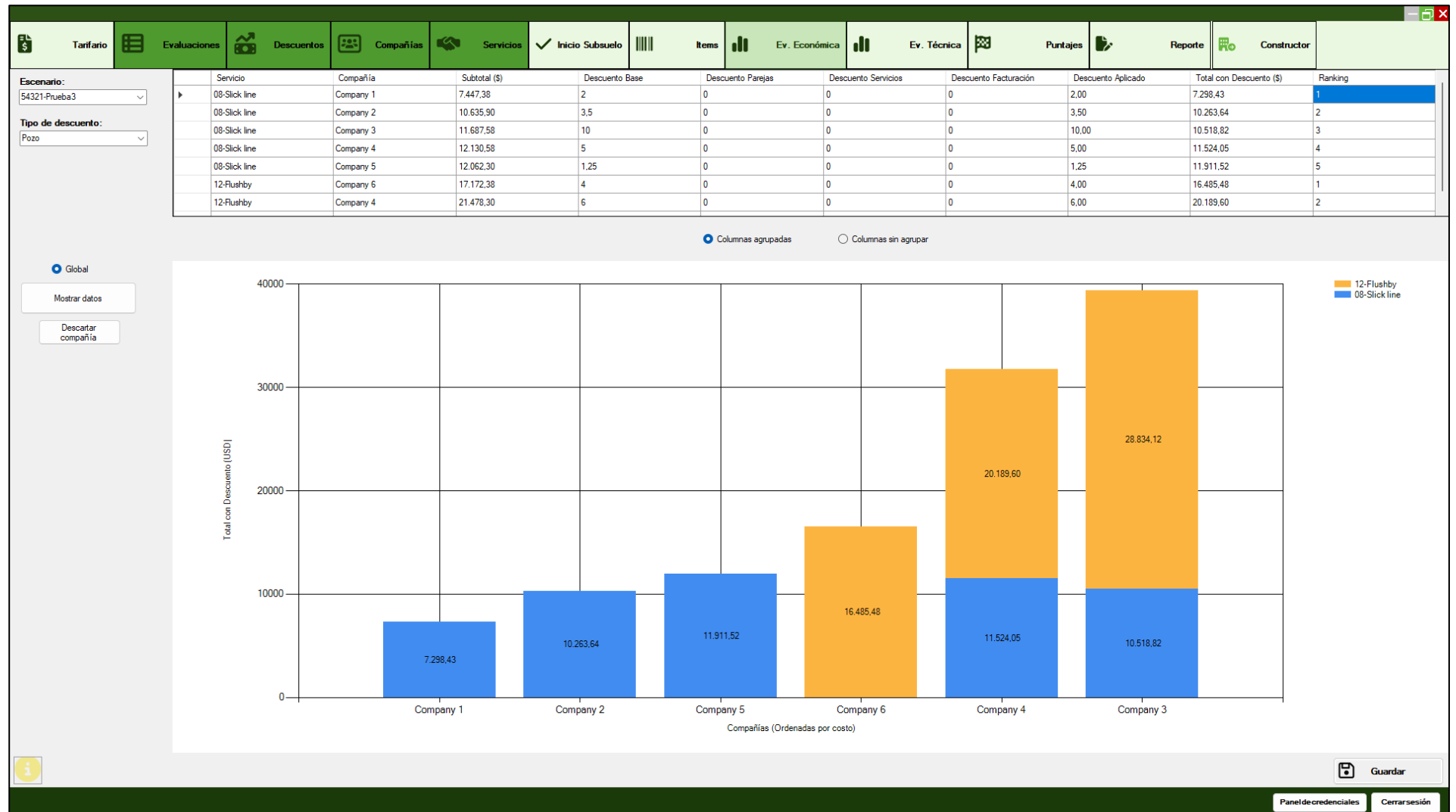
Guardar

Panel de credenciales

Cerrar sesión

Fuente: Elaboración propia

Anexo C. Pestaña Evaluación Económica — cálculo de PxQ, aplicación de descuentos y visualización gráfica de costos.



Fuente: Elaboración propia

Anexo D. Pestaña Evaluación Técnica

Tarifario
Evaluaciones
Descuentos
Compañías
Servicios
Inicio Subsuelo
Items
Ev. Económica
Ev. Técnica
Puntajes
Reporte
Constructor

Seleccionar servicio

Escenario:
54321-Prueba3

Linea base sin descuento:
1000000

Cantidad de pozos:
5

Opciones avanzadas:
Sin completitud de servicio

Tipo de descuento:
Pozo

Mostrar datos

Eliminar criterio

Compañía	Linea Base Sin Descuento	Linea Base con Descuento	PxQ (USD)	PxQ x Pozos (USD)	LB Sin Descuento x Pozos	LB Con Descuento x Pozos	Ranking	Servicio
Company 1	1000000	980000	7298,43	36492,15	5000000	4900000	1	Global
Company 2	1000000	900000	10518,82	52594,1	5000000	4500000	2	Global
Company 3	1000000	960000	16485,48	82427,4	5000000	4800000	3	Global
Company 4	1000000	940000	31713,65	158568,25	5000000	4700000	4	Global
Company 5	1000000	950000	39331,76	196658,8	5000000	4750000	5	Global
Company 6	1000000	940000	42421,71	212108,55	5000000	4700000	6	Global

Criterios

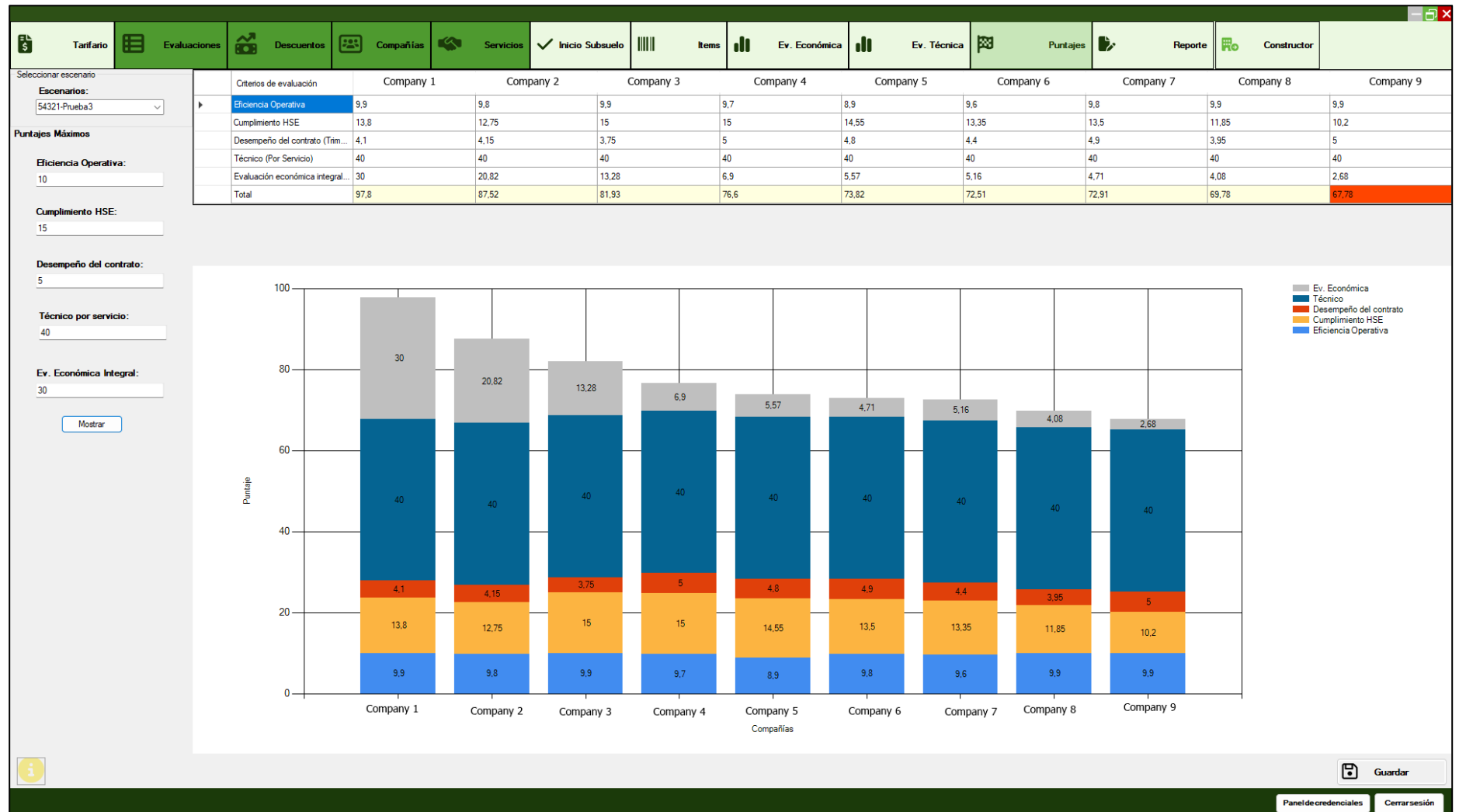
Criterio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Disponibilidad	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Criterio 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Criterio 3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Criterio 4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Criterio 5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Reiniciar escenario
Guardar

Panel de credenciales
Cerrar sesión

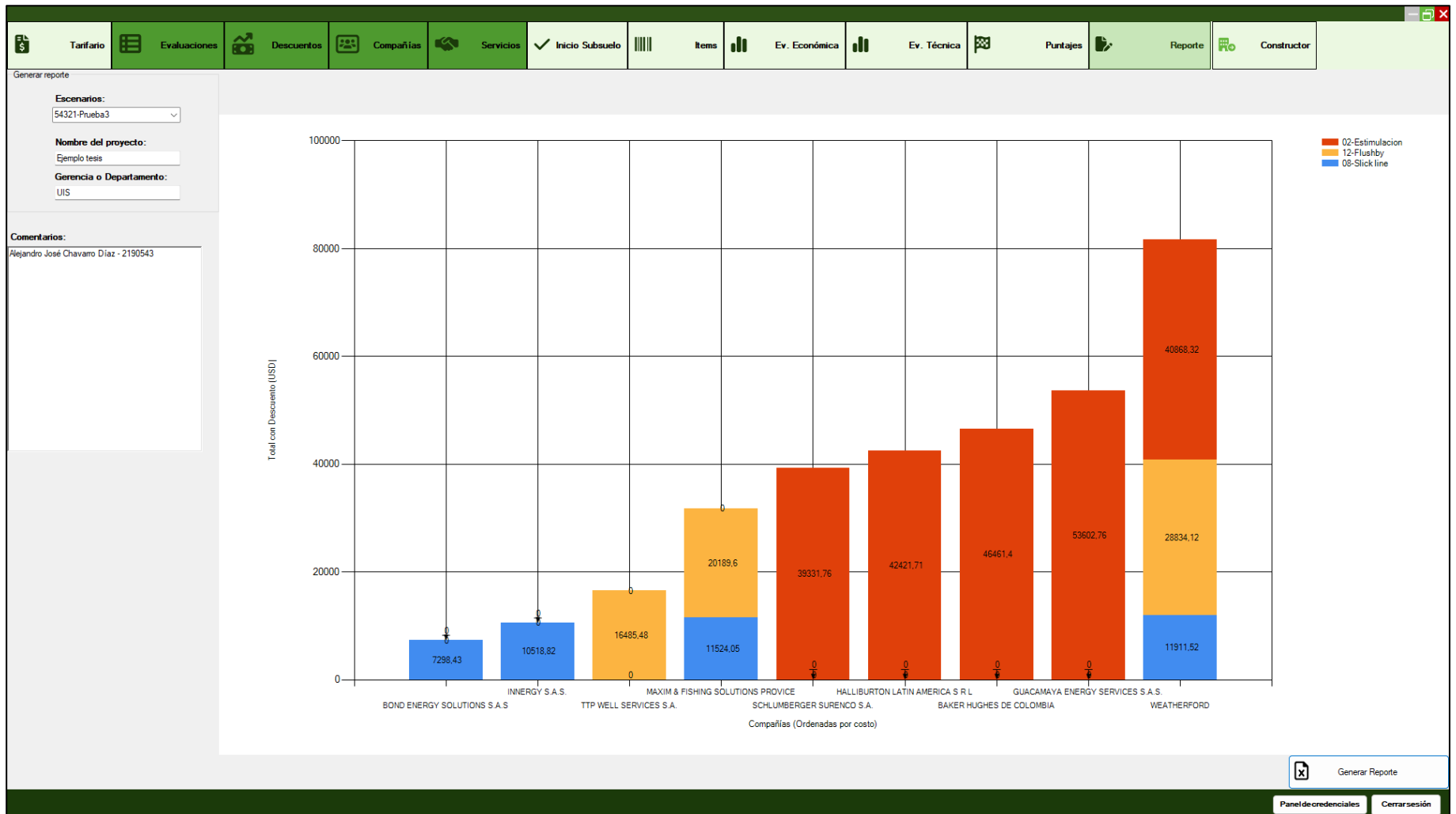
Fuente: Elaboración propia

Anexo E. Pestaña Puntajes — configuración de pesos, cálculo de puntajes integrales y visualización por criterio.



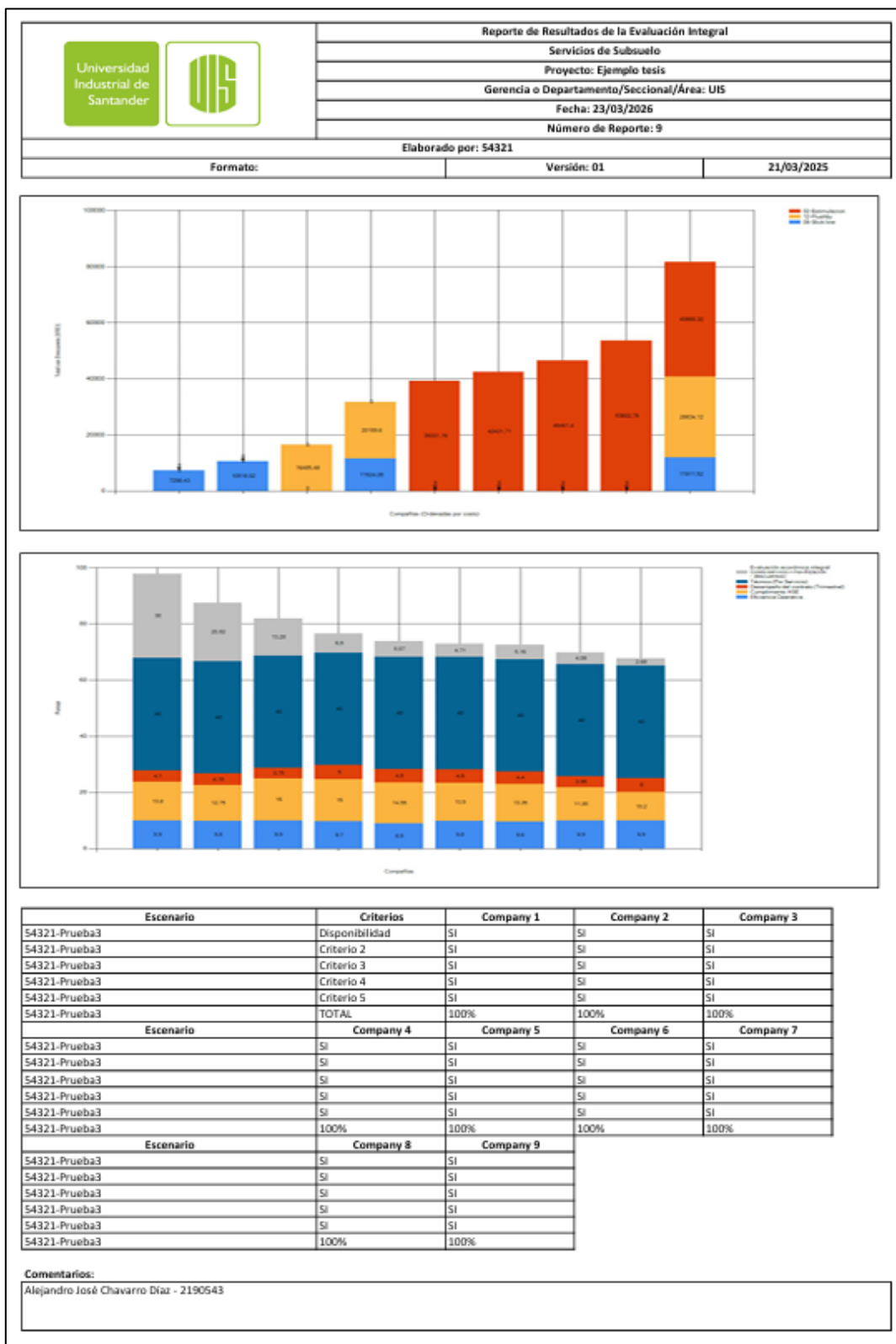
Fuente: Elaboración propia

Anexo F. Pestaña Reporte — configuración y vista previa del reporte de evaluación integral.





Fuente: Elaboración propia

Anexo G. Primera página del reporte de evaluación integral generado por WellRank en formato Excel



Fuente: Elaboración propia

Anexo H. Segunda página del reporte de evaluación integral generado por WellRank en formato Excel

 	Reporte de Resultados de la Evaluación Integral				
	Servicios de Subsuelo				
	Proyecto: Ejemplo tesis				
	Gerencia o Departamento/Seccional/Área: UIS				
	Fecha: 23/03/2026				
	Número de Reporte: 9				
Elaborado por: 54321					
Formato:		Versión: 01		21/03/2025	
Servicio	Cod. Herramienta	Cantidad	Descripción	Unidad	Escenario
Movilización	SVC-REE-U-01	13	Unidad de Registros (KM	54321-Prueba3
Movilización	SVC-REE-U-02	108	Unidad de Registros (KM	54321-Prueba3
Movilización	SVC-REE-C-01	9	Escolta Militar (Ingres	Viaje	54321-Prueba3
08-Slick line	SVC-REE-C-02	2	Unidad de Slickline/Br	12 HORAS	54321-Prueba3
08-Slick line	SVC-REE-U-03	2	Unidad de Slickline/Br	24 HORAS	54321-Prueba3
08-Slick line	SVC-REE-U-04	2	Redress Kit Standing V	Global	54321-Prueba3
Movilización	SVC-REE-C-03	4	Unidad de Slick line (KM	54321-Prueba3
Movilización	SVC-MOV-B-01	60	Unidad de Slick line (KM	54321-Prueba3
12-Flushby	SVC-MOV-B-02	2006.2	SERVICIO DE INSPECIÓN	ft	54321-Prueba3
12-Flushby	SVC-REP-C-01	1	SUMINISTRO CUADRILL	EA	54321-Prueba3
Movilización	SVC-REP-U-01	2	MIR	KM	54321-Prueba3
Movilización	SVC-REP-U-02	20	MIR	KM	54321-Prueba3
Movilización	SVC-REP-U-03	2	Set de Estimulación	KM	54321-Prueba3
Movilización	SVC-REP-U-04	30	Set de Estimulación	KM	54321-Prueba3
02-Estimulacion	SVC-REP-U-05	163	Estabilizador de finos	GAL	54321-Prueba3
02-Estimulacion	SVC-REP-U-06	8330	Cloruro de Amonio (NH	LBS	54321-Prueba3
02-Estimulacion	SVC-REP-U-07	782	Diesel	GAL	54321-Prueba3
02-Estimulacion	SVC-REP-U-08	408	Bifloruro de Amonio	LBS	54321-Prueba3
02-Estimulacion	SVC-REP-C-02	8	Surfactante base agua	GAL	54321-Prueba3
02-Estimulacion	SVC-SLL-U-01	12	Surfactante base agua	GAL	54321-Prueba3
02-Estimulacion	SVC-SLL-U-02	6	Surfactante base aceit	GAL	54321-Prueba3
02-Estimulacion	SVC-SLL-C-01	1328	Acido Clorhidrico con	GAL	54321-Prueba3
02-Estimulacion	SVC-FLB-C-01	61	Secuestrante de Óxigen	LBS	54321-Prueba3
02-Estimulacion	SVC-FLB-C-02	18	Ayudante/potencializa	GAL	54321-Prueba3
02-Estimulacion	SVC-FLB-U-01	220	Soda cáustica	GAL	54321-Prueba3

Fuente: Elaboración propia

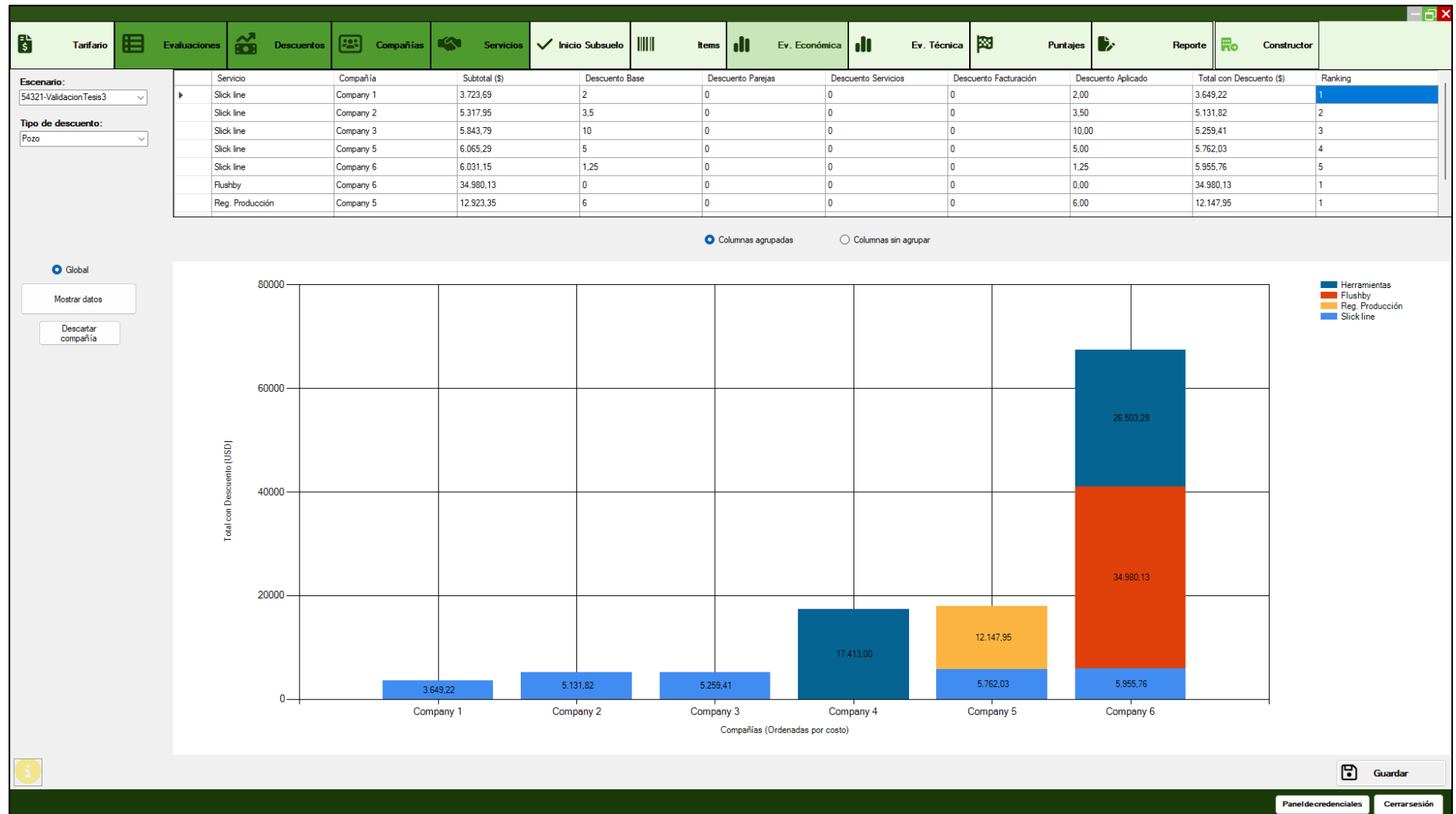
Anexo I. Ítems para escenario 54321-ValidacionTesis3 como comparativo

#	Código	Cantidad	Servicio
1	SVC-REE-U-01	3431,3	Reg. Eléctricos
2	SVC-REE-U-02	3431,3	Reg. Eléctricos
3	SVC-REE-C-01	3431,3	Reg. Eléctricos
4	SVC-REE-C-02	3431,3	Reg. Eléctricos
5	SVC-REE-U-03	3474,9	Reg. Eléctricos
6	SVC-REE-U-04	3474,9	Reg. Eléctricos
7	SVC-REE-C-03	1	Reg. Eléctricos
8	SVC-MOV-B-01	1	Movilización
9	SVC-MOV-B-02	20	Movilización
10	SVC-REP-C-01	1	Reg. Producción
11	SVC-REP-U-01	3156	Reg. Producción
12	SVC-REP-U-02	3156	Reg. Producción
13	SVC-REP-U-03	3156	Reg. Producción
14	SVC-REP-U-04	3156	Reg. Producción
15	SVC-REP-U-05	3156	Reg. Producción
16	SVC-REP-U-06	3156	Reg. Producción
17	SVC-REP-U-07	3156	Reg. Producción
18	SVC-REP-U-08	3156	Reg. Producción
19	SVC-REP-C-02	1	Reg. Producción
20	SVC-SLL-U-01	1	Slick line
21	SVC-SLL-U-02	1	Slick line
22	SVC-SLL-C-01	1	Slick line
23	SVC-FLB-C-01	1	Flushby
24	SVC-FLB-C-02	1	Flushby
25	SVC-FLB-U-01	2006,2	Flushby
26	SVC-FLB-C-03	1	Flushby
27	SVC-HER-U-01	2	Herramientas
28	SVC-HER-U-02	2	Herramientas
29	SVC-HER-U-03	2	Herramientas

#	Código	Cantidad	Servicio
30	SVC-HER-U-04	2	Herramientas
31	SVC-HER-U-05	2	Herramientas
32	SVC-HER-U-06	2	Herramientas
33	SVC-HER-U-07	2	Herramientas
34	SVC-HER-C-01	1	Herramientas
35	SVC-HER-U-08	2	Herramientas
36	SVC-HER-U-09	2	Herramientas

Fuente: Elaboración propia

Anexo J. Evaluación económica escenario 54321-ValidacionTesis3 como comparativo



Fuente: Elaboración propia

Anexo K. Manual de Usuario – *WellRank*

Anexo K.1 Descripción general del sistema

WellRank es una aplicación de escritorio desarrollada en C# sobre el framework .NET con interfaz WinForms, orientada a la digitalización y optimización del proceso de evaluación integral de compañías de servicios de subsuelo en el segmento *Upstream* del sector hidrocarburos. El sistema se despliega localmente en el equipo del interventor y no requiere conectividad a internet para su operación. El sistema cuenta con dos perfiles de usuario:

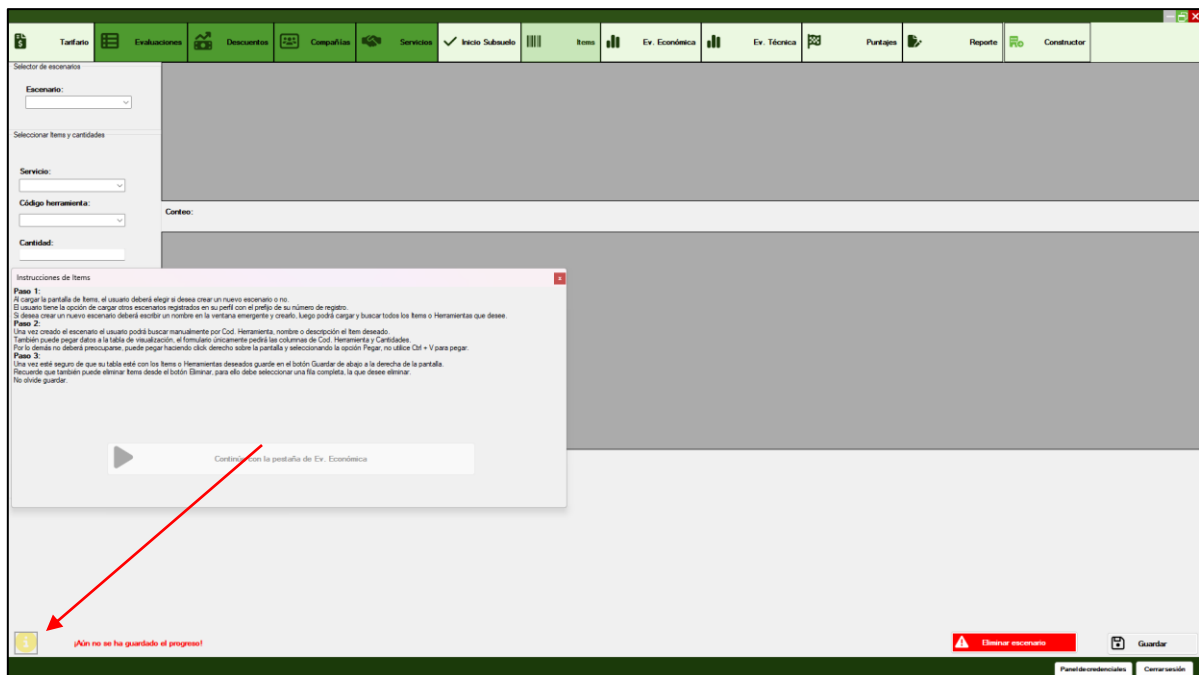
- **Administrador:** tiene acceso a los módulos de configuración del sistema — Tarifario, Evaluaciones, Descuentos, Compañías y Servicios — que corresponden a la información base que alimenta los escenarios de evaluación. Esta información debe estar previamente cargada y actualizada antes de que el usuario interventor inicie una evaluación.
- **Interventor (usuario):** tiene acceso al flujo de evaluación integral activado mediante el botón **Inicio Subsuelo**, que despliega secuencialmente los módulos Ítems, Evaluación Económica, Evaluación Técnica, Puntajes y Reporte. Cada módulo del flujo de evaluación cuenta con un botón de ayuda contextual, identificado con un ícono amarillo en la esquina inferior izquierda de la pantalla, que al ser presionado despliega una ventana emergente con las instrucciones paso a paso del módulo correspondiente.
- **Administrador:** no es un perfil de usuario en concreto, ya que el administrador tiene acceso directo al *BackEnd* de la aplicación y la base de datos, por lo tanto, no necesita *Login* directo.

Nota: En cada pestaña del proceso de evaluación se añadió en la parte inferior izquierda un botón de ayuda (señalado con una flecha en rojo en el Anexo K.3) con información paso a paso de la pestaña activa en el momento, este botón es una *i* de información de color amarillo. Este botón será la guía del usuario al momento de utilizar la herramienta.

Anexo K.2 Interfaz Principal. La barra de navegación superior contiene todas las pestañas disponibles del sistema. Para el perfil de interventor las pestañas relevantes son:

Pestaña	Función
Inicio Subsuelo	Activa el flujo completo de evaluación integral
Ítems	Configuración de ítems y herramientas del escenario
Ev. Económica	Evaluación económica de las compañías postulantes
Ev. Técnica	Evaluación técnica y de criterios por compañía
Puntajes	Consolidación del puntaje final por compañía
Reporte	Generación y exportación del reporte en Excel
Constructor	Módulo opcional para construir ítems desde el sistema

Anexo K.3 Módulo Ítems. Se presenta un selector de escenarios en la izquierda de la pantalla, como se ve en la siguiente figura.



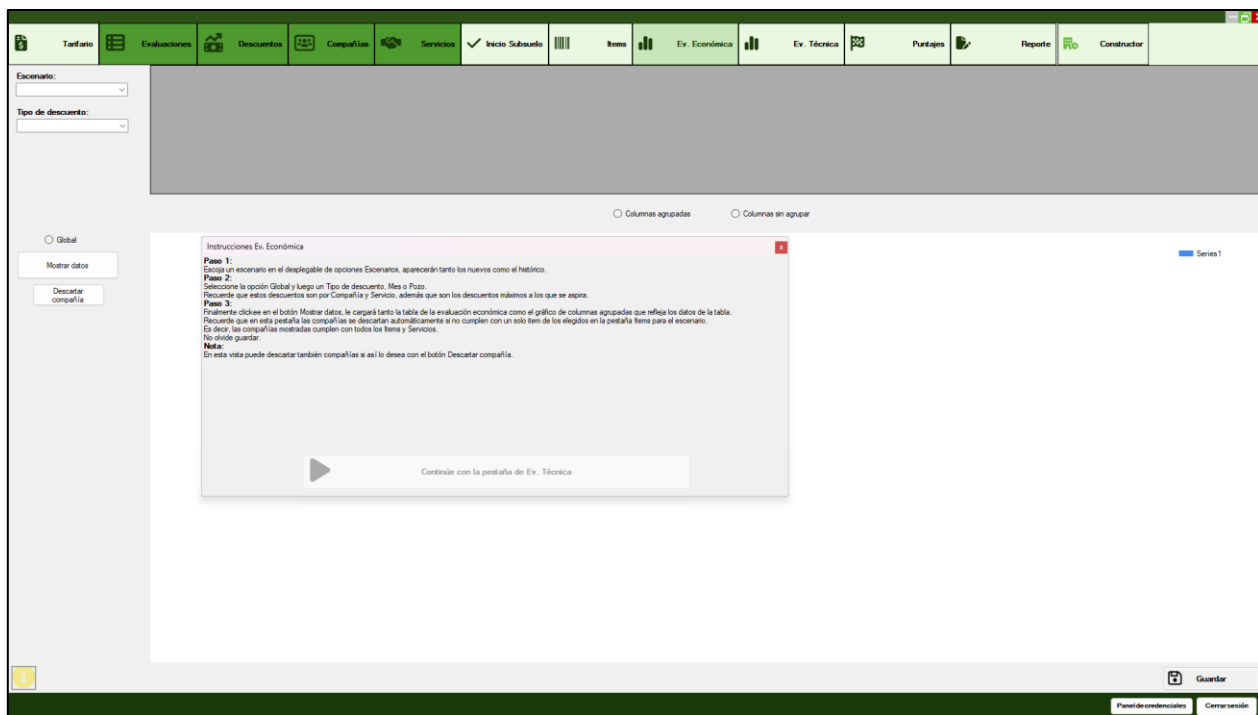
Fuente: Elaboración propia

Paso 1 — Selección o creación del escenario: Al cargar la pantalla de Ítems, el usuario debe elegir si desea crear un nuevo escenario o cargar uno existente. El sistema permite cargar escenarios previamente registrados en el perfil del usuario, identificados por el prefijo de su número de registro. Si se desea crear un nuevo escenario, el sistema solicitará escribir un nombre en una ventana emergente; una vez creado, el usuario podrá cargar y buscar todos los ítems o herramientas que desee.

Paso 2 — Carga de ítems: Una vez creado o seleccionado el escenario, el usuario puede buscar ítems manualmente por código de herramienta, nombre o descripción. El sistema también permite pegar datos directamente a la tabla de visualización; el formulario únicamente solicitará las columnas de Código de Herramienta y Cantidades. Para pegar datos, haga clic derecho sobre la tabla y seleccione la opción Pegar. No utilice el atajo Ctrl + V.

Paso 3 — Guardar: Una vez que la tabla contenga los ítems o herramientas deseados, presione el botón **Guardar**, ubicado en la parte inferior derecha de la pantalla. Para eliminar ítems, seleccione la fila completa que desea eliminar y utilice el botón **Eliminar**.

Anexo K.4 Módulo Evaluación Económica. El módulo de Evaluación Económica calcula el costo total por compañía considerando los ítems cargados en el escenario, los descuentos aplicables y la factibilidad de participación de cada postulante.



Fuente: Elaboración propia

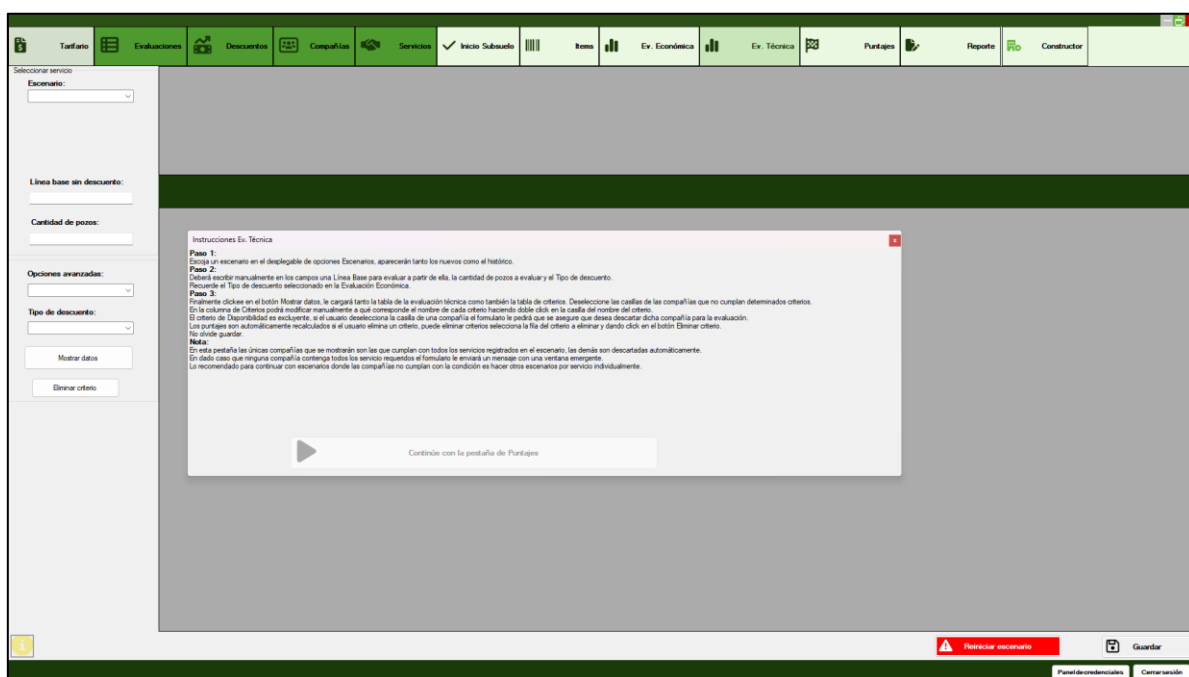
Paso 1 — Selección del escenario: Escoja el escenario en el desplegable de opciones. Aparecerán tanto los escenarios nuevos como los históricos.

Paso 2 — Configuración de descuentos: Seleccione la opción **Global** y luego el **Tipo de descuento:** Mes o Pozo. Tenga en cuenta que estos descuentos son por compañía y por servicio, y corresponden a los descuentos máximos a los que aspira cada postulante.

Paso 3 — Mostrar datos: Presione el botón **Mostrar datos**. El sistema cargará la tabla de evaluación económica y el gráfico de columnas agrupadas que refleja los datos calculados. Las compañías que no cumplan con al menos un ítem de los seleccionados en el módulo de Ítems para el escenario serán descartadas automáticamente.

Nota: En esta vista también es posible descartar compañías manualmente mediante el botón **Descartar compañía**, si el interventor así lo considera pertinente

Anexo K.5 Módulo Evaluación Técnica. El módulo de Evaluación Técnica permite evaluar el desempeño histórico y la capacidad técnica de cada compañía según los criterios definidos por la compañía operadora.



Fuente: Elaboración propia

Paso 1 — Selección del escenario: Escoja el escenario en el desplegable de opciones.

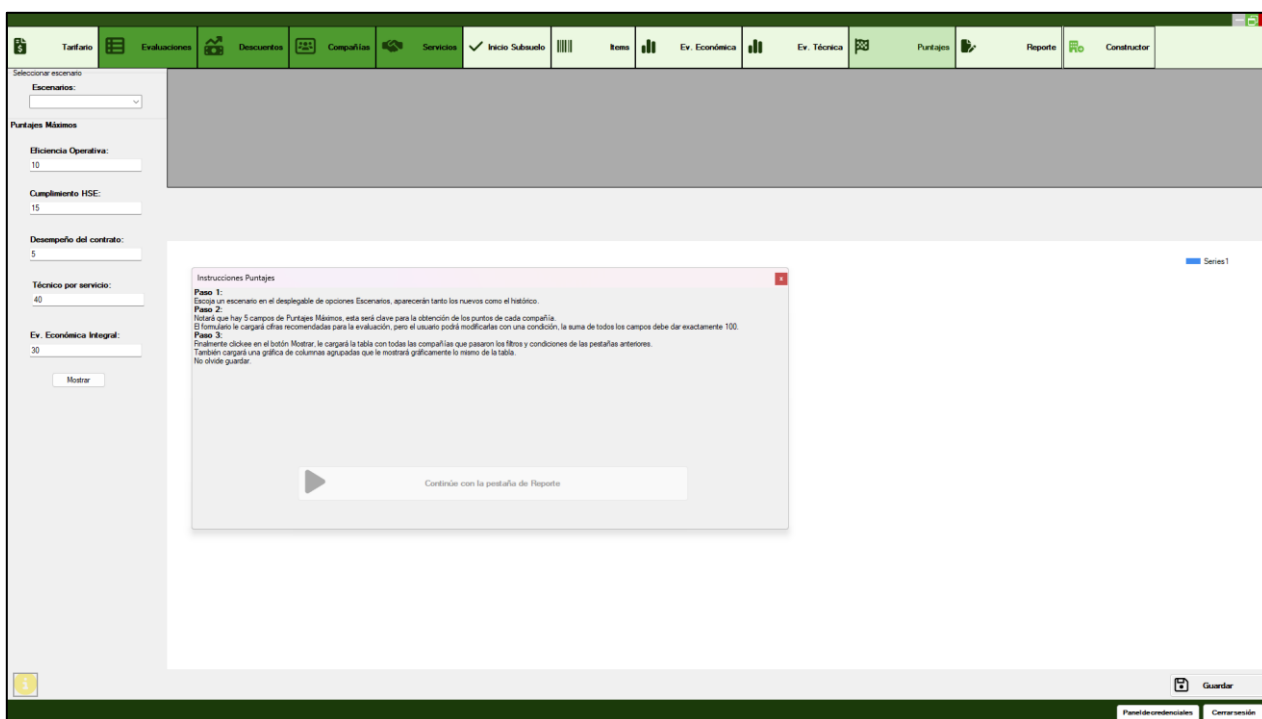
Paso 2 — Configuración de parámetros: Ingrese la **Línea base sin descuento**, la **Cantidad de pozos** a evaluar y el **Tipo de descuento**. Recuerde que el tipo de descuento debe coincidir con el seleccionado en la Evaluación Económica. Configure también las **Opciones avanzadas** si aplica.

Paso 3 — Mostrar datos y evaluar criterios: Presione **Mostrar datos**. El sistema cargará la tabla de evaluación técnica y la tabla de criterios. Para evaluar, deselectione las casillas de las compañías que no cumplan determinados criterios. En la columna de Criterios, el nombre de cada criterio puede modificarse haciendo doble clic sobre la casilla correspondiente.

Notas importantes:

- El criterio de **Disponibilidad** es excluyente: si se deselectiona la casilla de una compañía, el sistema solicitará confirmar que se desea descartar dicha compañía de la evaluación.
- Los puntajes se recalculan automáticamente al eliminar un criterio.
- Para eliminar un criterio, seleccione su fila y presione el botón **Eliminar criterio**.
- Las únicas compañías mostradas en esta pestaña son las que cumplan con todos los servicios registrados en el escenario; las demás son descartadas automáticamente.
- Si ninguna compañía contiene todos los servicios requeridos, el sistema enviará un mensaje mediante ventana emergente. En ese caso se recomienda crear escenarios individuales por servicio.

Anexo K.6 Módulo Puntajes. El módulo de Puntajes consolida las dimensiones económica y técnica en un indicador numérico final por compañía.



Fuente: Elaboración propia

Paso 1 — Selección del escenario: Escoja el escenario en el desplegable de opciones.

Paso 2 — Configuración de puntajes máximos: El sistema presenta cinco campos de **Puntajes Máximos** que el interventor debe verificar o ajustar:

Campo	Valor sugerido
Eficiencia Operativa	10
Cumplimiento HSE	15
Desempeño del contrato	5
Técnico por servicio	40
Ev. Económica Integral	30

Nota: El sistema automáticamente validará si la suma de los ponderados es 100, no puede ser ni más ni menos.

El formulario carga valores recomendados para la evaluación, pero el interventor puede modificarlos respetando esta condición.

Paso 3 — Mostrar: Presione el botón **Mostrar**. El sistema cargará la tabla con todas las compañías que superaron los filtros de los módulos anteriores, junto con una gráfica de columnas agrupadas que representa gráficamente los mismos resultados.

Anexo K.7 Módulo Reporte. El módulo de Reporte genera el documento final de la evaluación en formato Excel. El reporte se estructura en dos hojas:

- **Hoja 1:** gráfico de la evaluación económica por compañía, gráfico de puntajes consolidados por compañía, tabla de criterios técnicos evaluados y campo de comentarios opcionales del interventor.
- **Hoja 2:** tabla de ítems y códigos de herramienta cargados en el escenario evaluado.

Para generar el reporte, seleccione el escenario correspondiente y presione el botón de exportación. El sistema generará el archivo Excel en la ruta configurada.