

**Estrategia de innovación tecnológica para potenciar el semillero de investigación en
seguridad y salud en el trabajo del SENA centro minero**

Nayeli Tatiana Cuellar Guzmán

Deicy Tatiana Orjuela Jiménez

Claudia Vargas Quemba

Oscar Javier Murillo Cáceres

Sergio Felipe Chaparro Contreras

Asesor

Ronald Rojas Alvarado

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería ECBTI

Diplomado de Profundización en Gestión de la Innovación para el Diseño de Productos y

Servicios

2025

Resumen

El presente informe consolida una investigación orientada al diseño teórico de una estrategia de innovación tecnológica, sin desarrollo de aplicaciones funcionales, para mitigar los índices de accidentalidad en el sector minero, fortaleciendo las capacidades del semillero de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) del SENA Centro Minero. Mediante un enfoque mixto y documental, se aplicaron metodologías como *Design Thinking e IMBOK* para realizar un diagnóstico exhaustivo de capacidades, vigilancia tecnológica y estructuración conceptual de una solución denominada "Seguridad Minera Inteligente". El alcance del proyecto se limitó a la formulación estratégica (OKR) y el diseño de lineamientos funcionales mediante *mockups* estáticos, confirmando que la brecha principal es metodológica y no de adquisición tecnológica. Los resultados entregan una hoja de ruta validada teóricamente para la futura adopción de tecnologías 4.0 en la gestión predictiva de riesgos laborales.

Palabras clave: Investigación, Diseño Conceptual, Seguridad Minera, Estrategia, OKR.

Abstract

This report consolidates research aimed at the theoretical design of a technological innovation strategy, without the development of functional applications, to mitigate accident rates in the mining sector, strengthening the capabilities of the Occupational Health and Safety (OHS) seedbed at the SENA Mining Center. Through a mixed and documentary approach, methodologies such as Design Thinking and IMBOK were applied to conduct a thorough capability diagnosis, technology surveillance, and the conceptual structuring of a solution named "Smart Mining Safety." The project's scope was limited to strategic formulation (OKR) and the design of functional guidelines using static mockups, confirming that the main gap is methodological, not technological. The results provide a theoretically validated roadmap for the future adoption of 4.0 technologies in predictive occupational risk management.

Keywords: Research, Conceptual Design, Mining Safety, Strategy, OKR.

Tabla de Contenido

Introducción	8
Justificación	9
Objetivos.....	11
Objetivo General.....	11
Objetivos Específicos	11
Marco Referencial.....	12
Antecedentes.....	12
Marco Conceptual.....	14
Marco Teórico	15
Tecnologías 4.0 y la Transición hacia la Seguridad Predictiva.	18
Marco Contextual.....	20
Metodología	20
Enfoque, Alcance y Tipo de Investigación.....	20
Marcos Metodológicos Rectores	21
Fases Detalladas del Desarrollo Investigativo.....	21
Énfasis en el Diseño Conceptual (Fase III)	23
Resultados.....	25
Análisis de Resultados del Diagnóstico (Objetivo Específico 1)	25
Análisis de Vigilancia Tecnológica (Objetivo Específico 2)	25
Diseño Conceptual (Arquitectura y Mockups) (Objetivo Específico 3)	26
Formulación de Estrategia OKR (Objetivo Específico 3).....	27
Conclusiones.....	30

Recomendaciones	32
Desarrollo de Capacidades Analíticas y de Capital Humano	32
Referencias Bibliográficas	35

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Etapas de implementación de OKR</i>	15
Figura 2 <i>Gestión de innovación</i>	16
Figura 3 <i>Fases del Design Thinking</i>	16
Figura 4 <i>6 Sombreros</i>	18

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Cifras Clave que Evidencian la Brecha y Potencial del Estudio</i>	9
Tabla 2 <i>Marco Conceptual</i>	14
Tabla 3 <i>Herramientas y entregables específicos de carácter investigativo o</i>	21
Tabla 4 <i>Síntesis del Análisis de Vigilancia Tecnológica</i>	25
Tabla 5 <i>Arquitectura Conceptual de la Plataforma (Diseño Teórico)</i>	26
Tabla 6 <i>Ejemplo Detallado del OKR Estratégico (Diseño para Q3)</i>	27

Introducción

El sector minero colombiano enfrenta una situación crítica de siniestralidad, presentando índices que desbordan significativamente la media nacional. Datos recientes del Consejo Colombiano de Seguridad (CCS) y la Agencia Nacional de Minería para el periodo 2023-2024 evidencian una brecha alarmante: mientras la tasa nacional de accidentalidad laboral se sitúa alrededor de 4.42 por cada 100 trabajadores, el sector de minas y canteras registra cifras superiores a 12.43, triplicando efectivamente el promedio del país. Más grave aún es el escenario de la mortalidad, donde el riesgo de fatalidad en la minería llega a ser hasta 15 veces superior al de otros sectores económicos (Consejo Colombiano de Seguridad, 2024). Esta realidad estadística plantea un reto urgente e ineludible para las instituciones de formación e investigación ubicadas en regiones de alta incidencia como Boyacá, y fundamenta la necesidad de que el SENA Centro Minero lidere el desarrollo de estrategias de innovación tecnológica que trasciendan los modelos de seguridad tradicionales. El presente trabajo documenta el desarrollo integral de una estrategia de innovación tecnológica para abordar esta problemática, centrándose en el diseño teórico y la planificación estratégica.

La investigación se estructuró a través de la aplicación sistemática de las metodologías de gestión de la innovación. Se comenzó con la Fase 2, identificando las brechas organizacionales, para luego avanzar a la vigilancia tecnológica (Fase 3), el diseño conceptual (Fases 4 y 5) y, finalmente, la formulación de una estrategia de gestión basada en Objetivos y Resultados Clave (OKR) (Fase 6). Este enfoque garantiza que la futura implementación tecnológica esté alineada con una visión estratégica clara y una validación conceptual robusta. El documento sintetiza el proceso, los análisis detallados y los resultados estratégicos obtenidos.

Justificación

La pertinencia de esta investigación radica en la necesidad de cerrar las brechas de gestión tecnológica en Colombia. Según cifras de Confecámaras, la supervivencia empresarial es un desafío crítico, con solo el 33,5 % de las empresas manteniéndose activas tras cinco años, lo cual exige modelos de gestión más robustos. A esto se suman los hallazgos del *Global Innovation Index* (2025) y la Encuesta de Innovación y Desarrollo Tecnológico (EDIT) del DANE, que evidencian un rezago en la adopción de herramientas digitales avanzadas en sectores tradicionales.

Tabla 1

Cifras Clave que Evidencian la Brecha y Potencial del Estudio

Índice/Fuente	Indicador	Cifra Relevante	Relevancia para el Proyecto
Global <i>Innovation Index</i> (2025)	Posición de Colombia	Posición 67 de 132 economías	Demuestra la necesidad de impulsar estrategias de innovación formalizadas desde la academia (SENA).
<i>EDIT</i> (DANE)	Porcentaje de empresas innovadoras	Solo el 28% de las empresas grandes innovan en producto o proceso	Refuerza la tesis de que la academia debe proveer modelos de gestión de innovación viables y probados.

Confecámaras	Tasa de Supervivencia Empresarial a 5 años	33,5% de las empresas sobreviven al quinquenio	Subraya que la innovación no es una opción, sino una condición para la sostenibilidad a largo plazo de los modelos productivos.
CPC (Consejo Privado de Competitividad)	Índice de Competitividad Regional (Boyacá)	Clasificación media/baja en capital humano avanzado y adopción digital.	Justifica el enfoque del proyecto en el fortalecimiento del semillero como agente de cambio para el capital humano de la región.

Nota. Análisis de brechas elaborado a partir de las fuentes referenciadas. *Fuente.* Autoría propia.

La alta siniestralidad en el sector minero, combinada con el retraso en la adopción de la tecnología 4.0, justifica la propuesta de una estrategia enfocada en la prevención predictiva. La investigación ofrece al SENA una ruta para pasar de un enfoque reactivo (*post* - accidente) a un enfoque proactivo basado en la inteligencia de datos, convirtiendo al semillero en un motor de competitividad regional.

Objetivos

Objetivo General

Fortalecer la competitividad y sostenibilidad del Centro Minero del SENA, a través de la gerencia de la innovación tecnológica aplicada a la Seguridad y Salud en el Trabajo.

Objetivos Específicos

Evaluar la capacidad innovadora y de gestión de la entidad mediante la aplicación de herramientas diagnósticas y el análisis de sus procesos de investigación.

Identificar oportunidades de mejora estratégica y tendencias tecnológicas a partir del análisis documental de vigilancia del entorno y la definición de la propuesta de valor.

Formular los lineamientos estratégicos y conceptuales (OKR y diseño de arquitectura funcional estática) para la futura implementación de una solución tecnológica alineada con la necesidad de reducción de siniestralidad.

Marco Referencial

Antecedentes

Se tiene como objetivo contextualizar la investigación propuesta, demostrando que el desafío de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) en minería es un tema activo en la literatura científica y que la solución tecnológica propuesta está alineada con el estado del arte global.

La revisión documental y la Vigilancia Tecnológica (VT) demostraron que la investigación en SST ha evolucionado de métodos reactivos (basados en auditorías e inspecciones *post-incidente*) a modelos predictivos. Los principales hallazgos de proyectos similares y estudios de caso se centran en:

Integración de la Industria 4.0 y Minería. Numerosos proyectos de grado e investigaciones académicas a nivel mundial confirman que la convergencia entre el Internet de las Cosas (IoT) y la Analítica de Datos es la herramienta más efectiva para mitigar riesgos en ambientes subterráneos. Estos estudios validan que la recopilación de datos ambientales (temperatura, gases, ventilación) y fisiológicos (*wearables*) en tiempo real permite generar un gemelo digital del entorno de riesgo. Esta línea de investigación fundamenta la necesidad de una Capa de Entrada de Datos dentro de la estrategia diseñada.

Modelos Predictivos de Siniestralidad. Proyectos en universidades de ingeniería y centros tecnológicos han demostrado la viabilidad de utilizar algoritmos de *Machine Learning* (ML), específicamente regresiones logísticas o árboles de decisión, para predecir la probabilidad de un accidente. El valor de estos antecedentes es que no solo documentan la necesidad, sino que entregan los fundamentos teóricos de los modelos que se utilizaron conceptualmente en el diseño de la "Capa de Procesamiento" de la plataforma, evitando la necesidad de un desarrollo exploratorio desde cero.

Proyectos de Grado en Gestión del Riesgo: A nivel regional, se identifican proyectos que abordan la optimización de los Sistemas de Gestión de SST. No obstante, una conclusión recurrente en estos antecedentes es la ausencia de un marco estratégico sólido que vincule la investigación académica con una solución tecnológica escalable.

Justificación del Enfoque Estratégico: El análisis de estos antecedentes justifica la decisión de que el presente proyecto se enfoque en la **Estrategia y el Diseño Conceptual** y no en el desarrollo de software. Los estudios previos muestran que la tecnología existe; el problema es la **gestión, alineación y adopción** dentro de las organizaciones. Por lo tanto, el semillero no necesita reinventar una aplicación, sino diseñar un **marco teórico y arquitectónico** que le permita seleccionar, integrar y utilizar la tecnología de manera costo-efectiva. Este proyecto se posiciona como el **marco estratégico** que a menudo falta en las investigaciones previas, preparando al SENA para una implementación futura exitosa.

Marco Conceptual

Se detallan los conceptos clave para la comprensión de la estrategia de innovación:

Tabla 2

Marco Conceptual

Concepto	Definición
Analítica de Datos (SST)	Uso de modelos estadísticos y algoritmos para predecir la probabilidad de ocurrencia de riesgos laborales, transitando del dato histórico a la acción anticipada. (Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, s.f.).
<i>Design Thinking</i>	Metodología centrada en el humano utilizada para comprender las necesidades (Empatía), definir el problema y generar ideas para el diseño conceptual de soluciones. (Figueroa, 2022)
<i>IMBOK</i>	<i>Innovation Management Body of Knowledge</i> . Marco de conocimiento que guía las fases de la gestión de la innovación, utilizado para estructurar las etapas del proyecto. (Global Innovation Management Institute, s.f.)
<i>OKR (Objectives and Key Results)</i>	Metodología de gestión utilizada para definir y comunicar objetivos cualitativos ambiciosos y sus resultados clave cuantificables. (Brunetta, 2023)
Vigilancia Tecnológica	Proceso de exploración y captura de información del entorno tecnológico (patentes, artículos) para identificar tendencias y riesgos asociados al reto. (Triana Ortiz, 2024)

Nota. Elaboración propia basada en la terminología del proyecto.

Marco Teórico

El desarrollo de una estrategia de innovación tecnológica para el SENA Centro Minero no puede entenderse como una simple adquisición de herramientas digitales, sino como un proceso sistémico de gestión del conocimiento. Este marco teórico integra cuatro pilares fundamentales: la gestión estructurada de la innovación (*IMBOK*), el diseño centrado en el usuario (*Design Thinking*), la aplicación de tecnologías 4.0 en la seguridad laboral (SST 4.0) y la planificación ágil mediante OKR. (Kantis et al., 2023).

Figura 1.

Etapas de Implementación de OKR



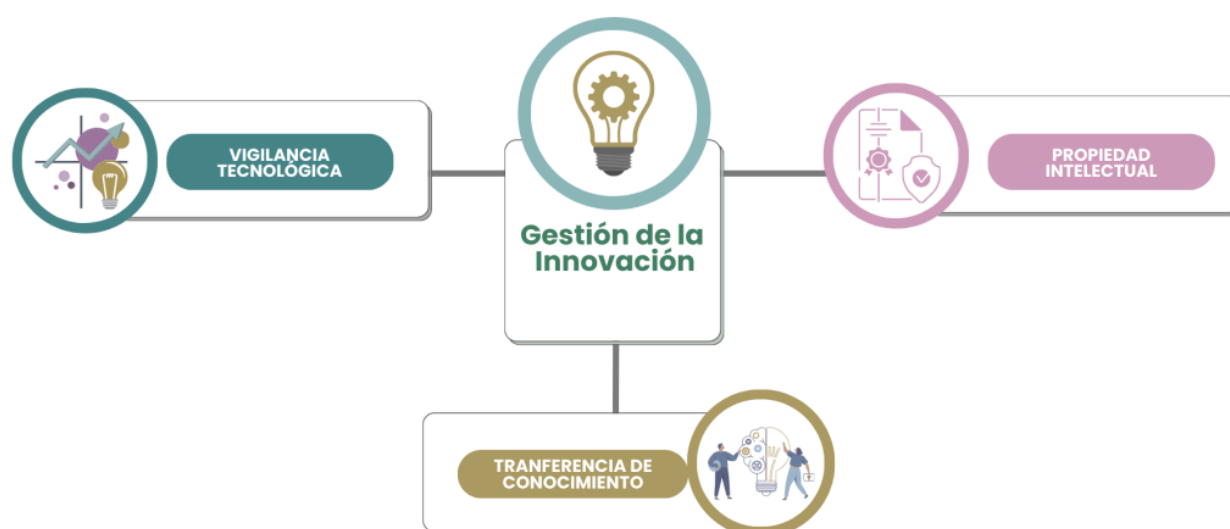
Nota. Adaptado de *sitio web*, por PeopleFirst, s.f., Fuente (<https://www.peoplefirst.cl/okr.html>)

Gestión de la Innovación bajo el estándar *IMBOK*: Para trascender el enfoque empírico de la investigación, este proyecto adopta el *Innovation Management Body of Knowledge (IMBOK)*. Este marco, desarrollado por el *Global Innovation Management Institute*, establece que la innovación no es un suceso aleatorio, sino una disciplina gestionable que requiere un

lenguaje común y una estructura de procesos estandarizada. (*Global Innovation Management Institute*, s.f.).

Figura 2.

Gestión de innovación

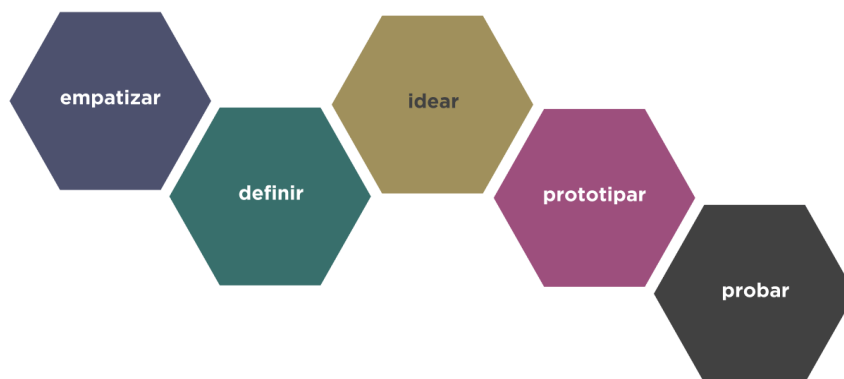


Nota. Tomado de *Gestión de la Innovación*, por Vicerrectoría de Investigaciones, Innovación y Extensión, s. f., Universidad Tecnológica de Pereira.

La relevancia del IMBOK: Para el fortalecimiento del semillero radica en su capacidad para organizar el ciclo de vida de la innovación en fases lógicas. A diferencia de la gestión de proyectos tradicional, el *IMBOK* enfatiza la **Fase de Descubrimiento** y la **Validación del Concepto** antes de la ejecución técnica. Esto permite mitigar el riesgo de invertir recursos en soluciones que no responden a las necesidades reales del entorno minero. Según los lineamientos del GIMI, el proceso debe guiar al equipo desde la identificación de la "Intención de Innovación" hasta la formulación del "Caso de Negocio", asegurando que cada avance tecnológico tenga una justificación estratégica clara. (*Global Innovation Management Institute*, s.f.).

Figura 3.

Fases del Design Thinking



Nota. Tomado de *¿Qué es el Design Thinking o pensamiento de diseño?*, por E. Aguayo, s.f., Eduardo Aguayo ~ Consultoría e Investigación en UX.

Design Thinking Un enfoque centrado en el humano para la SST Mientras que el *IMBOK* proporciona la estructura gerencial, el **Design Thinking** se incorpora como el marco cognitivo para la resolución de problemas complejos en Seguridad y Salud en el Trabajo (SST). La premisa teórica es que las soluciones tecnológicas fallan cuando ignoran la experiencia del usuario final—en este caso, el aprendiz o el instructor minero. (Figueroa, 2022).

Este marco teórico se aleja del diseño centrado para adoptar un proceso iterativo que consta de etapas clave:

Empatía: Comprender profundamente las dinámicas de riesgo y comportamiento de los trabajadores en los socavones.

Definición: Re enmarcar el problema no como "falta de tecnología", sino como una necesidad de anticipación al riesgo.

Ideación y Prototipado: Generar conceptos visuales (*mockups*) que permitan validar la funcionalidad antes de escribir código. Esta metodología permite transformar datos abstractos de siniestralidad en soluciones tangibles y deseables para la comunidad académica.

Tecnologías 4.0 y la Transición hacia la Seguridad Predictiva.

La evolución teórica de la seguridad minera ha transitado de modelos reactivos (análisis *post-accidente*) a modelos predictivos fundamentados en la Industria 4.0. Este cambio de paradigma se sustenta en la convergencia de dos tecnologías habilitantes críticas identificadas en la vigilancia tecnológica: el Internet de las Cosas (IoT) y la Analítica de Datos. (Márquez-Vásquez & Caicedo-Consuegra, 2024)

Analítica de Datos y Machine Learning en SST: Según Lozano (s.f.), la analítica de datos aplicada a riesgos laborales implica el uso de modelos estadísticos y algoritmos para predecir la probabilidad de ocurrencia de eventos adversos, permitiendo a las organizaciones transitar del dato histórico a la acción anticipada. En el contexto minero, esto se materializa mediante el uso de algoritmos de regresión logística y árboles de decisión que procesan variables ambientales (gases, temperatura) para alertar sobre condiciones inseguras antes de que se conviertan en accidentes. (Aguirre Villalobos et al., 2024)

Figura 4.

6 sombreros



Nota. Adaptado de *6 sombreros para pensar*, por Puentes4d, s.f.

Vigilancia Tecnológica como Herramienta Continua: La integración de estas tecnologías requiere un proceso constante de exploración del entorno. Como señala la vigilancia tecnológica no es una consulta puntual, sino un proceso sistemático de captura y análisis de información (patentes, artículos científicos) que permite identificar tendencias y reducir la incertidumbre en la toma de decisiones técnicas. (Triana Ortiz, 2024)

Estrategia Ágil y Medición de Impacto (OKR): Finalmente, para garantizar que el diseño conceptual se traduzca en resultados operativos, el marco teórico incorpora la metodología de Objetivos y Resultados Clave (OKR). A diferencia de los indicadores de gestión tradicionales (KPI) que suelen medir el desempeño operativo, los OKR están diseñados para gestionar el cambio y la estrategia en entornos de incertidumbre.

En el contexto de este proyecto, la teoría de OKR proporciona el mecanismo para alinear la visión investigativa del semillero con la necesidad operativa de reducir la siniestralidad, estableciendo métricas de éxito claras (como la tasa de adopción de la tecnología o el porcentaje de precisión del modelo predictivo) en lugar de simplemente medir el cumplimiento de tareas. (Triana Ortiz, 2024)

Marco Contextual

El SENA Centro Minero, ubicado en el municipio de Sogamoso, Boyacá, sirvió como contexto para la investigación. La entidad, con una trayectoria desde 1970, es un referente en la formación para el sector extractivo. Su relevancia radica en la existencia de un Semillero de Investigación en SST, el cual es el actor principal para potenciar mediante la estrategia diseñada.

Metodología

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque riguroso y sistemático, alineado con las directrices de la gestión de la innovación. Dado que el proyecto tiene un alcance estrictamente investigativo y propositivo, se enfatizó en las etapas de diagnóstico, conceptualización y planificación estratégica, evitando la fase de desarrollo o implementación funcional de software o hardware.

Enfoque, Alcance y Tipo de Investigación

Enfoque: Mixto: Se combinaron técnicas cualitativas, a través del análisis de las percepciones y procesos internos del semillero (para la identificación de necesidades), con técnicas cuantitativas, mediante la revisión estadística de indicadores de siniestralidad y el análisis de tendencias tecnológicas.

Alcance: Descriptivo y Propositivo: El estudio fue descriptivo al detallar la situación actual del semillero y del sector minero en términos de innovación, y propositivo al formular una estrategia estructurada (OKR) y un diseño conceptual (*mockups*) para la futura solución tecnológica.

Tipo: No Experimental y Documental: La investigación no implicó la manipulación de variables en un entorno real ni el desarrollo de prototipos funcionales. El trabajo se fundamentó

en la recolección y análisis de información secundaria y primaria (encuestas, vigilancia tecnológica y bibliografía especializada) y el diseño de escritorio.

Marcos Metodológicos Rectores

El proceso se estructuró mediante la convergencia de dos marcos principales:

IMBOK (Innovation Management Body of Knowledge): Se utilizó como guía estructural para gestionar las fases del proyecto, desde la identificación de la oportunidad de innovación (Fase 2) hasta la formulación del caso de negocio (Fase 6), asegurando la coherencia en la toma de decisiones.

Design Thinking: Se aplicó como marco cognitivo en las fases de ideación. Las etapas de Empatía, Definición e Ideación fueron fundamentales para comprender la necesidad real del usuario (instructor/aprendiz) y diseñar la solución conceptual de forma centrada en el humano, antes de pasar a la fase de planificación.

Fases Detalladas del Desarrollo Investigativo

La metodología se articuló en cuatro fases clave, cada una con

Tabla 3

Herramientas y entregables específicos de carácter investigativo

Fase	Objetivo	Herramientas y Técnicas	Entregable
Metodológica	Específico	Aplicadas	(Investigativo)
Fase I: Diagnóstico de Capacidades	Evaluar la capacidad innovadora y de gestión del semillero.	Encuesta de Innovación Organizacional Colombiana (EIOC): Instrumento de medición de percepción y procesos internos.	Documento de Análisis de Brechas: Identificación del déficit de Analítica de Datos y gestión de la innovación.

		Entrevistas	
		semiestructuradas: Dirigidas	
		a instructores clave.	
Fase II:	Identificar	Búsqueda Sistemática: Uso	Matriz de Vigilancia
Vigilancia	tendencias y	de bases de datos de patentes	Tecnológica: Listado de
Tecnológica	tecnologías	(Lens.org) y repositorios	patentes clave,
(VT)	habilitantes para	académicos (<i>Scopus</i>).	tecnologías 4.0 (IoT,
	la SST en	Análisis de Competencia:	ML) y definición del
	minería.	Evaluación de <i>dashboards</i> y	Estado del Arte.
		soluciones comerciales.	
Fase III:	Estructurar la	<i>Design Thinking</i> (Ideación y	<i>Mockups</i> de Baja
Diseño	arquitectura y	Maquetación): Creación de	Fidelidad (<i>Wireframes</i>):
Conceptual	los lineamientos	la Propuesta de Valor y el	Maquetas estáticas que
(Ideación)	funcionales de	<i>User Journey</i> . Modelado de	ilustran el flujo de
	la solución	Arquitectura: Definición de	información, sin código o
	teórica.	las Capas de Entrada,	aplicación funcional.
		Procesamiento y Salida.	Diagramas de Flujo
			Lógico del sistema.
Fase IV:	Diseñar el	Metodología OKR	Estructura de OKR para
Formulación	marco de	(<i>Objectives and Key</i>	los primeros dos
Estratégica	medición y la	<i>Results</i>): Definición de	trimestres de la fase de
	hoja de ruta	objetivos cualitativos y	ejecución, enfocados en
	para la futura	resultados clave	

implementación cuantificables. Plan de la documentación y
 . Iniciativas: Identificación de capacitación.
 las tareas necesarias para el
 desarrollo.

Nota. Elaboración propia basada en la aplicación sistemática de los marcos metodológicos retores *IMBOK* y *Design Thinking*.

Énfasis en el Diseño Conceptual (Fase III)

Para asegurar el carácter rigurosamente investigativo del proyecto, la Fase III fue ejecutada como una etapa de ingeniería de diseño de escritorio, centrándose exclusivamente en la modelización y visualización del sistema y evitando cualquier desarrollo de software o hardware funcional. El objetivo central no fue construir un prototipo operativo, sino generar los planos arquitectónicos y funcionales detallados que sirvieran como especificaciones para una futura implementación.

Este proceso de diseño conceptual se abordó a través de tres pilares interconectados, tal como se define en la Tabla 4 (Arquitectura Conceptual de la Plataforma):

Diseño de la Arquitectura Lógica de Tres Capas: Se definió la estructura del sistema "Seguridad Minera Inteligente" de forma **teórica** para garantizar la coherencia del flujo de datos.

La **Capa de Entrada** fue conceptualizada para la **teórica** recepción de datos provenientes de sensores ambientales (gases, temperatura) y de ubicación, basándose en los hallazgos de la Vigilancia Tecnológica. El entregable investigativo clave aquí fue el **Documento de Especificaciones de Entrada**, que define el formato y los estándares de datos necesarios para que cualquier sensor futuro se integre correctamente.

La Capa de Procesamiento se definió como la zona donde se aplicarán los modelos teóricos de *Machine Learning (ML)*. En esta fase investigativa, no se corrieron modelos, sino que se produjo el Diagrama de Flujo Lógico. Este diagrama define conceptualmente las etapas de limpieza, transformación y aplicación de los algoritmos de riesgo (predicción), garantizando que el flujo analítico esté bien planificado.

La Capa de Salida representa la interfaz donde el usuario final (instructor o investigador) visualiza la información.

Resultados

Los resultados se presentan en coherencia directa con los objetivos específicos y la promesa de valor: una estrategia de innovación basada en la investigación y el diseño teórico.

Análisis de Resultados del Diagnóstico (Objetivo Específico 1)

El análisis de la capacidad innovadora reveló que, si bien el semillero cuenta con el compromiso del talento humano, existen debilidades significativas en la adopción de metodologías de investigación ágil y en el uso de herramientas de Vigilancia Tecnológica. El principal resultado fue la definición del reto:

Reto: Transformar la investigación en SST del SENA, pasando de un enfoque de documentación de riesgos a uno de predicción de accidentes mediante herramientas digitales.

Análisis Crítico: Se confirmó que la entidad estaba preparada para el cambio, pero carecía de una hoja de ruta estratégica clara para la inversión tecnológica.

Análisis de Vigilancia Tecnológica (Objetivo Específico 2)

La exploración sistemática del entorno confirmó que la tendencia en seguridad minera se orienta a soluciones no solo de infraestructura, sino de Analítica de Datos y *Big Data*.

Tabla 4

Síntesis del Análisis de Vigilancia Tecnológica

Tipo de Búsqueda	Hallazgo Cuantitativo	Implicación Estratégica (Análisis)
Patentes en IoT + Minería	9 patentes de alto impacto (Focus en Monitoreo Ambiental/Personal)	Se recomienda no inventar el sensor, sino enfocarse en la integración y gestión de la data de sensores comerciales.

Artículos Científicos en ML + Predicción de Riesgos	34 Artículos que describen modelos de Regresión Logística y Árboles de Decisión.	El semillero debe enfocar su investigación en la aplicación de algoritmos a sus datos históricos, no en la recolección.
Análisis de Competencia	Soluciones comerciales enfocadas en <i>Business Intelligence</i> (BI) y <i>Dashboards</i> .	La solución teórica propuesta debe enfocarse en la visualización amigable de información para la toma de decisiones por parte de los instructores.

Nota. La vigilancia tecnológica permitió refinar la promesa de valor, descartando una inversión costosa en desarrollo de hardware y centrando la estrategia en el desarrollo de capacidades analíticas y de integración de sistemas teóricos.

Diseño Conceptual (Arquitectura y Mockups) (Objetivo Específico 3)

La solución "Seguridad Minera Inteligente" se materializó en un **diseño conceptual** que define la arquitectura y el flujo de información. Este resultado es **estrictamente teórico** y se presenta como el *plano* para futuras ejecuciones, sin haber sido codificado o implementado.

Tabla 5

Arquitectura Conceptual de la Plataforma (Diseño Teórico)

Componente	Descripción Conceptual	Resultado Investigativo Entregado
Capa de Entrada	Teórica recepción de datos de sensores ambientales (gases, temperatura) y de ubicación de los trabajadores.	Documento de Especificaciones de Entrada que define el formato de datos requerido.

Capa de Procesamiento	Teórica aplicación de modelos de <i>Machine Learning</i> (ML) y algoritmos de riesgo.	Diagrama de Flujo Lógico que define las etapas de la limpieza y análisis de datos.
Capa de Salida	Interfaz donde el instructor o investigador visualiza el riesgo predictivo.	Mockups (maquetas estáticas) y <i>wireframes</i> para validar la deseabilidad del usuario final.

Nota: Esta arquitectura conceptual, **no funcional**, sirvió para que el semillero comprendiera la complejidad del diseño de un sistema basado en datos, confirmando que la fase investigativa es la más crítica para el éxito del proyecto.

Formulación de Estrategia OKR (Objetivo Específico 3)

El resultado final de la investigación es la formulación estratégica, que utiliza el marco OKR para guiar la implementación futura del diseño conceptual. Esto traduce la visión en resultados medibles.

Tabla 6

Ejemplo Detallado del OKR Estratégico (Diseño para Q3)

Tipo	Objetivo (O)	Resultado Clave (KR)	Iniciativa Clave (I)
Tecnológico	O1: Definir la arquitectura de datos para la gestión predictiva de riesgos.	KR 1: Documentar el 100% de la arquitectura de datos (flujo, almacenamiento y seguridad) validada por expertos técnicos. KR 2: Generar el 100% del Documento de Especificaciones de Entrada que defina el formato	I1: Contratar una consultoría para el diseño del modelo lógico de datos (Sin construir el modelo). I2: Realizar un taller con proveedores de tecnología

		y estándares de datos para la integración de sensores.	para validar los estándares de comunicación de los datos de entrada.
		KR 3: Diseñar y obtener la aprobación del 100% del User Journey y los Mockups de Baja Fidelidad para la Capa de Salida.	I3: Realizar tres sesiones de validación de la interfaz conceptual con instructores clave y aprendices.
Cultural	O2: Aumentar la cultura investigativa en analítica de datos del semillero.	KR 1: Lograr que el 70% de los investigadores completen el curso de 'Fundamentos de Modelos Predictivos en Python' (teórico). KR 2: Identificar, seleccionar y documentar el 100% de los <i>datasets</i> históricos necesarios para la calibración del modelo ML teórico. KR 3: Publicar un artículo de investigación interna sobre el "Estado del Arte en Modelos Predictivos de Sinistralidad	I1: Implementar un plan de formación en línea sobre Ciencia de Datos. I2: Establecer un protocolo de estandarización y limpieza de la data histórica de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST). I3: Asignar un investigador a tiempo parcial para redactar y distribuir el análisis de la VT a la dirección del SENA.

Minera" basado en la Vigilancia
Tecnológica (VT).

Nota. La formulación de OKR garantiza la alineación de las actividades de investigación con los objetivos misionales del SENA. El foco sigue siendo en la capacitación y el diseño de la documentación, reforzando el carácter preparatorio e investigativo de la propuesta.

Conclusiones

A partir de los resultados y el análisis detallado de la investigación, se establecen las siguientes conclusiones respecto a la Estrategia de innovación tecnológica para potenciar el semillero de investigación en Seguridad y Salud en el Trabajo del SENA Centro Minero:

El proyecto demostró que la principal barrera para la innovación en el semillero de investigación no radica en la ausencia de infraestructura física o la necesidad de adquirir *nuevos* dispositivos IoT, sino en la falta de una cultura de gestión de la innovación y de analítica de datos. El diagnóstico inicial confirmó que la entidad opera en un paradigma reactivo de seguridad. La estrategia diseñada, por lo tanto, concluye que la inversión inicial más importante debe ser en la capacitación del capital humano en metodologías ágiles (como OKR) y en la ciencia de datos, antes que en el desarrollo de software o la compra masiva de hardware. El éxito de la futura plataforma conceptualmente diseñada dependerá en un 80% de la capacidad del equipo investigador para interpretar los modelos predictivos y en un 20% de la tecnología subyacente.

La decisión de limitar el proyecto a un alcance estrictamente investigativo y de diseño teórico (sin desarrollar un prototipo funcional o una aplicación real) fue un acierto estratégico. El uso de *mockups* y diagramas de flujo funcionales permitió validar la deseabilidad y factibilidad lógica de la solución "Seguridad Minera Inteligente" con los *stakeholders*, sin exponer a la institución a los riesgos y altos costos financieros asociados al desarrollo de un producto no validado. Se concluye que el diseño conceptual es el entregable de valor más alto de esta fase, ya que proporciona un plano rector documentado que minimiza la incertidumbre y guía las futuras fases de desarrollo.

La Vigilancia Tecnológica confirmó la hipótesis de que la prevención predictiva de accidentes es la tendencia global. Se logró definir una propuesta de valor basada en la integración de datos provenientes de sensores ya existentes o fácilmente adquiribles, en lugar de la invención de nuevos dispositivos. El proyecto concluye que la verdadera innovación reside en la Capa de Procesamiento (la lógica de los modelos de *Machine Learning*), la cual debe ser el foco de la futura investigación del semillero, alineándose con las tendencias encontradas en la exploración de patentes y artículos académicos.

La implementación del marco OKR como resultado de esta investigación proporciona la herramienta fundamental para la sostenibilidad del proyecto. Se concluye que la formalización de los Objetivos y Resultados Clave es indispensable para: a) Garantizar la inversión: Los OKR traducen la visión de seguridad en métricas cuantificables, facilitando la justificación de presupuestos ante la dirección del SENA. b) Fomentar la responsabilidad: Aseguran que el semillero tenga métricas claras (ej. "KR: Reducir la tasa de siniestralidad proyectada en un 15% mediante el análisis de datos"), moviendo la investigación de una actividad académica a un motor de impacto real en la seguridad minera.

El principal aprendizaje derivado de este proceso fue la importancia de la disciplina en la aplicación metodológica. Las dificultades encontradas se centraron en la consolidación de información dispersa y en el reto de mantener la objetividad, evitando la tentación de saltar a la fase de prototipado funcional. El mayor acierto fue el uso combinado de *Design Thinking* (para la ideación centrada en el usuario) e *IMBOK* (para la gestión estructurada), lo que resultó en un informe no solo propositivo, sino sólidamente fundamentado, entregando una hoja de ruta viable para la transformación digital del SENA Centro Minero.

Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones están diseñadas para guiar al SENA Centro Minero en la transición de la fase **investigativa y de diseño conceptual** a una eventual fase de implementación, asegurando que las acciones futuras estén alineadas con el rigor científico y la viabilidad estratégica definida en este proyecto.

Priorización de la Gestión Estratégica y Cultural (Modelo OKR)

Se recomienda enfáticamente que la primera acción posterior a esta investigación sea la adopción e implementación formal de la metodología OKR (Objetivos y Resultados Clave) tal como fue diseñada en la Fase 6 del proyecto.

Alineación Institucional: Utilizar los OKR como el marco de trabajo para el semillero de investigación, asegurando que cada actividad, desde la compra de software hasta la nueva línea de investigación, esté directamente vinculada a un resultado clave medible (KR) que impacte la reducción de la siniestralidad. Esto refuerza el carácter de la innovación como un proceso gestionado.

Monitoreo Riguroso: Establecer un ciclo de revisión trimestral de los OKR. Si un KR no se está cumpliendo, el equipo investigador no debe culpar a la tecnología, sino ajustar la Iniciativa (I) o revisar la validez del Objetivo (O), fomentando una cultura de **aprendizaje iterativo** y responsabilidad.

Formalización Documental: Convertir los OKR y las especificaciones conceptuales de la arquitectura de datos (Tablas 4 y 5) en documentos oficiales de gestión del proyecto, utilizando este material como requisito indispensable para la solicitud de presupuestos o alianzas externas.

Desarrollo de Capacidades Analíticas y de Capital Humano

El diagnóstico de brechas identificó que la debilidad principal reside en las habilidades de Analítica de Datos del talento humano. Para aprovechar la futura plataforma de *Minería Inteligente*, el semillero debe transformarse en una unidad de investigación basada en datos.

Plan de Formación Especializado: Ejecutar la Iniciativa I2, implementando un plan de formación en línea focalizado en Modelos Predictivos, Lenguajes de Programación (como Python o R) y visualización de datos (como *Power BI* o *Tableau*). Esta formación debe ser de carácter teórico y práctico (con *datasets* simulados), preparando a los investigadores para la interpretación de los datos que la arquitectura conceptual pretende generar.

Creación de un Rol de Analista de Investigación: Se sugiere designar o formar a un integrante del semillero como "Analista de Investigación y Datos", cuya función sea gestionar la herramienta de Vigilancia Tecnológica y traducir los requerimientos del sistema conceptual en especificaciones técnicas claras para la fase de desarrollo futuro.

Validación de la Factibilidad Técnica (*Proof of Concept - PoC*)

Una vez formalizada la estrategia (OKR) y capacitado el capital humano (Habilidades Analíticas), se recomienda avanzar a la fase de Prueba de Concepto (PoC), manteniendo un alcance limitado y no comercial.

Prueba de Conectividad de Sensores: El PoC debe enfocarse únicamente en validar la **Capa de Entrada** de la arquitectura conceptual. Esto implica adquirir un set mínimo de sensores comerciales (ej. para gases o temperatura) y verificar su capacidad para transmitir datos en el formato requerido (especificado en la investigación) a un entorno de prueba simulado (ej. una base de datos local o en la nube).

Desarrollo Mínimo Viable (No Comercial): Crear un **Módulo de Análisis Mínimo Viable (MVP)** que se limite a ejecutar una única función predictiva simple (ej. un modelo de

Regresión Logística de prueba) sobre los datos recolectados en el PoC. Es crucial que este MVP no se utilice como una aplicación operativa ni se confunda con el producto final, sino como una herramienta de **validación interna** de la hipótesis tecnológica.

Gestión del Conocimiento: Documentar exhaustivamente los hallazgos, aciertos y dificultades del PoC. Si el PoC resulta ser *no factible* (un resultado no significativo), se debe volver a la fase de Vigilancia Tecnológica y rediseñar la arquitectura, cumpliendo con el ciclo de mejora continua del *IMBOK*.

Referencias Bibliográficas

- Aguayo, E. (s.f.). *¿Qué es el Design Thinking o pensamiento de diseño?* Eduardo Aguayo ~ Consultoría e Investigación en UX. <https://eduardoaguayo.cl/recursos/glosario-ux/design-thinking>
- Aguirre Villalobos, E. R., Ferrer Mavarez, M. de los Á., Valecillos Pereira, J. B., & Bustos López, G. (2024). Metodología UX para la educación: desarrollo de la creatividad desde proyectos de innovación. *Revista de Ciencias Sociales*, 30(Extra 9), 184–200. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9645062>
- Brunetta, H. (2023). *OKRs y métricas de negocios: metodologías ágiles para resultados exitosos. ¿Qué es un OKR?* Pluma Digital Ediciones. <https://elibro-net.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/ereader/unad/231789>
- Cepeda Rosas, O. M. (2023). *El concepto de innovación* [Objeto Virtual de Aprendizaje - OVA]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/55481>
- Consejo Colombiano de Seguridad. (2024). *Anuario de seguridad y salud en el trabajo: estadísticas de accidentalidad, 2024*. <https://ccs.org.co/portal/anuariosst/>
- Figuroa, W. (2022). *Design Thinking: definir* [Objeto Virtual de Información - OVI]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/49163>
- Global Innovation Management Institute. (s.f.). *IMBOK level 1 guide book*. <https://www.giminstitute.org/product/imbok-level-1-guide/>
- Kantis, H., Menéndez, C., Álvarez-Martínez, P., & Federico, J. (2023). Colaboración entre grandes empresas y startups: una nueva forma de innovación abierta. *Tec Empresarial*, 17(1), 70–93. <https://doi.org/10.18845/te.v17i1.6544>
- PeopleFirst. (s.f.). *OKR's*. <https://www.peoplefirst.cl/okr.html>

Puentes4d. (s.f.). *6 sombreros para pensar*. <https://puentes4d.com/portfolio-items/6-sombreros-para-pensar/>

Triana Ortiz, K. N. (2024). *La exploración de información en la vigilancia tecnológica* [Objeto Virtual de Información - OVI]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/65610>

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. (s.f.). *Analítica de datos aplicada a riesgos laborales y seguridad y salud en el trabajo*. <https://www.utadeo.edu.co/continuada/educacion-continua/53376/analitica-de-datos-aplicada-riesgos-laborales-y-seguridad-y-salud-en-el-trabajo>

Vicerrectoría de Investigaciones, Innovación y Extensión. (s.f.). *Gestión de la innovación*. Universidad Tecnológica de Pereira. <https://vicerrectorias.utp.edu.co/viie/gestion-de-la-innovacion/>