



Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

**Instituto de Ingeniería y Tecnología
Departamento de Eléctrica y Computación
Maestría en Cómputo Aplicado**

**“Aplicación de KMoS-SSA para el análisis de encuestas para la
evaluación de la gestión de ergonomía mediante grafos de conocimiento”**

Tesis para obtener el grado de Especialista,
Maestro en Cómputo Aplicado.

Ing. Edgar Montoya Velgara

228222

Becado por el Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías

Bajo la Dirección la Dra. Karla Miroslava Olmos Sánchez

Y la Codirección de la Dra. Aidé Aracely Maldonado Macías

Ciudad Juárez, Chihuahua 22 de agosto de 2025

Agradecimientos

Quiero expresar, mi más sincero agradecimiento a mis padres, Alejandro M. De la Cruz y Estela V. Méndez, así como a mis hermanos. Por todo su apoyo incondicional y su ejemplo constante han sido la fuente de inspiración que me ha impulsado a superar cada desafío y alcanzar mis metas en este proyecto.

Mi más profundo agradecimiento también a Cristina Montoya mi hermana, quien me ha estado apoyando en cada paso, brindándome ánimo y motivación, ayudándome a seguir persiguiendo mis sueños con determinación.

De igual manera, quiero expresar mi gratitud hacia mi tutora de tesis, la Dra. Karla Miroslava Olmos Sánchez. Su guía experta, su paciencia y su constante apoyo han sido esenciales para la realización de este trabajo. Su orientación profesional ha dejado una marca significativa en mi formación académica. Su orientación y aportes han contribuido de manera invaluable al éxito de este proyecto.

Asimismo, agradezco a la Dra. Aidé Aracely Maldonado Macías y a Iván Francisco Rodríguez Gámez, cuya codirección, experiencia y compromiso han sido esenciales para el desarrollo de esta investigación. Su orientación y apoyo en momentos clave me brindaron la confianza necesaria para avanzar con seguridad y éxito en cada etapa del proyecto.

Finalmente, expreso mi más sincero reconocimiento y agradecimiento a todos los profesores de la Maestría en Cómputo Aplicado, quienes con su dedicación y conocimiento me brindaron una visión más amplia y sólida. Sus enseñanzas no solo fueron el cimiento para este proyecto, sino que también enriquecieron mi formación profesional, inspirándome a enfrentar nuevos desafíos con confianza y determinación.

Dedicatoria

A mis queridos padres, Alejandro M. De la Cruz y Estela V. Méndez.

Con todo mi amor y gratitud, dedico esta tesis a ustedes, quienes han sido los pilares fundamentales de mi vida. Desde el primer día me han brindado su apoyo incondicional, guiándome con paciencia y amor en cada paso de este largo camino. Cada sacrificio que han hecho por mí ha sido una fuente de motivación para seguir adelante, y su fortaleza ha sido la inspiración que me ha permitido superar todos los desafíos que se presentaron.

Su creencia en mí ha sido el motor que me impulsó a continuar, a no rendirme y a mantenerme enfocado en mis objetivos. Este logro no es solo mío, sino de ustedes, que me han acompañado en cada momento de mi vida.

A través de ustedes he aprendido el verdadero significado de la perseverancia, el sacrificio. Este trabajo es una pequeña muestra de todo lo que me han dado a lo largo de los años. Es con orgullo y gratitud que lo comparto con ustedes, porque sin su apoyo, este logro no habría sido posible.

Gracias por siempre creer en mí y por estar a mi lado, guiándome, alentándome y brindándome su apoyo sin reservas. Este éxito es de todos juntos.

Con todo mi cariño y admiración,

Edgar Montoya

CONAHCYT

Quiero expresar mi gratitud al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo invaluable brindado durante esta investigación. Su respaldo ha sido fundamental para el desarrollo de este proyecto, permitiéndome acceder a recursos esenciales y oportunidades que enriquecieron mi formación académica y profesional. Ser parte de una comunidad comprometida con el avance de las humanidades, la ciencia y la tecnología en México ha sido profundamente inspirador. Agradezco a CONAHCYT su dedicación y visión para apoyar a investigadores y estudiantes, pues su respaldo ha sido clave en mi desarrollo, motivándome a contribuir con dedicación al progreso académico y científico de nuestro país.

Índice de contenidos.

I. Introducción	9
1.1 Antecedentes.....	11
1.2 Definición del Problema.....	12
1.3 Objetivo General	14
1.3.1 Objetivos Específicos:	14
1.4 Justificación.....	15
1.5 Alcance, Limitaciones e Impacto	15
1.5.1 Limitaciones	16
1.5.2 Impacto.....	16
II. Marco Referencial	17
2.1 Dominios de Estructura Informal	17
2.2. Dominios Complejos de Estructura Informal.....	18
2.3. Conocimiento	20
2.3.1. Conocimiento Explicito.....	20
2.3.2. Conocimiento Tácito	20
2.4. Técnicas de Representación de Conocimiento	21
2.4.1. Grafos de Conocimiento.....	21
2.4.2. Ontologías	23
2.4.3. Modelos de Representación RDF y OWL.....	23
2.4.4. Algoritmos de Análisis y Clustering.....	25
2.4.5. Clustering	25
2.5. Gestión de la Ergonomía	26
2.5.1. Cadena de Suministro.....	26
2.5.2. Evaluación Ergonómica	27
2.6. Estándares y Normativas.....	28
2.6.1. ISO 45001.....	29
2.6.2. NORMA Oficial Mexicana NOM-035-STPS-2018	30
2.6.3. NORMA Oficial Mexicana NOM-036-SSA2-2012.....	30
2.7. Metodología de diseño axiomático.....	31
2.8. Desarrollo del Índice de Gestión de Ergonomía para la Sostenibilidad de la CS.....	33
2.8.1. IGE Constructo.....	36
2.8.2. IGE Elemento	36
2.8.3. IGE Requerimiento Funcional.....	37
III. Desarrollo del Proyecto	38

3.1 Metodología KMOS-SSA	38
3.2. Proyecto.....	40
3.3. LEL (Léxico Extendido de lenguaje)	41
3.4. Modelo Conceptual	42
3.5. Modelo de Metas Estratégicas.....	43
3.6. PQR (Problema, Causas, Remedio)	45
3.7. CATWOE.....	46
3.8. Ontología.....	48
3.9. Base de Datos Relacional	49
3.10. Protégé.....	50
3.10.1. Creación de Tripletas.....	52
3.11. Grafos de Conocimiento.....	56
3.11.1. Herramientas de Neo4j	57
3.11.2. Neosemantics (n10s)	57
3.11.3. Neo4j ETL Tool.....	59
3.11.4. Consultas en Neo4j.....	63
3.12. Kmeans.....	65
3.12.1. Consideraciones	65
3.12.2. Implementación de Kmeans	66
3.12.3. Estimación del uso de memoria.....	67
3.12.4. Arroyo.....	67
IV. Resultados y Validación de los Grafos de Conocimiento	70
4.1 Grafos de Conocimiento en Neo4j	71
4.2 Inicialización de la BD en Neo4j	71
4.2.1 Neo4j Browser.....	72
4.2.2 Guardado de Consultas.....	73
4.3 Resultado de Consultas	74
4.4 Resultados del Clúster	83
4.5 Neo4j Bloom	84
V. Conclusiones y trabajos futuros	85
5.1 Conclusión del proyecto.....	85
5.2 Trabajos futuros.....	86
Anexo I - LEL sobre el índice de gestión de la ergonomía	87
Anexo II – Modelo Conceptual	88
Anexo III – Modelo de Metas Estratégicas	89

Anexo IV – Modelo Ontológico en OWL.....	89
Referencias.....	91

Índice de Figuras

Figura 2.1 Dominio Complejo de estructura Informal	19
Figura 2.2 Representación gráfica de los rangos de diseño.....	35
Figura 3.1 Ciclo Continuo de enriquecimiento del conocimiento.....	38
Figura 3.2 Representa el marco KMoS-SSA.....	40
Figura 3.3 Representación del MC del IGE	43
Figura 3.4 Modelo de Metas Estratégicas	44
Figura 3.5 Representación de la ontología.....	48
Figura 3.6 Representación de la base de datos relacional	49
Figura 3.7 Representación de los conceptos	51
Figura 3.8 Representación de las clases y subclases	54
Figura 3.9 Representación de la relación entre clases.....	55
Figura 3.10 Implementación de n10s para la ontología	58
Figura 3.11 Implementación de ETL Tool para la migración de los datos.....	59
Figura 3.12 Bases de datos relacionales encontradas.....	60
Figura 3.13 Conexión a la BD.....	61
Figura 3.14 Implementación de ETL Tool para la migración de los datos.....	62
Figura 4.1 Inicialización de la Base de Datos	71
Figura 4.2 Inicialización de Neo4j Browser.....	72
Figura 4.3 Guardado de consultas Neo4j Browser.....	73
Figura 4.4 Resultado de consulta 1 de Neo4j Browser	74
Figura 4.5 Resultado de consulta 2 de Neo4j Browser	75
Figura 4.6 Resultado de consulta 3 de Neo4j Browser	76
Figura 4.7 Resultado de consulta 4 de Neo4j Browser	77
Figura 4.8 Resultado de consulta 5 de Neo4j Browser	78
Figura 4.9 Resultado de consulta 6 de Neo4j Browser	79
Figura 4.10 Resultado de consulta 7 de Neo4j Browser	80
Figura 4.11 Resultado de consulta 8 de Neo4j Browser.....	81
Figura 4.12 Resultado de consulta 9 de Neo4j Browser	82
Figura 4.13 Resultado de Clúster	83
Figura 4.14 Resultado de consulta en Bloom.....	84

Índice de Tablas

Tabla 2.1 Resultados de RC	35
Tabla 3.1 Conceptos importantes para el cálculo del IGE.....	42
Tabla 3.2 PQR	46
Tabla 3.3 CATWOE	47
Tabla 3.4 Tripletas RDF	53
Tabla 3.5 Consultas del especialista del dominio.....	63
Tabla 3.6 Consulta Cypher	64
Tabla 3.7 Consulta Cypher para generar un grupo.....	65
Tabla 3.8 Respuestas del ítem donde se hace la agrupación en 3 clúster.....	66
Tabla 3.9 Estimación de memoria	67
Tabla 3.10 Resultados de la agrupación	68

I. Introducción

Los grafos de conocimiento han surgido como una herramienta eficiente para representar datos de forma estructurada y accesible (Hogan , Blomqvist, Cochez, D'Amato, & Melo, 2021), los cuales se utilizan para capturar el conocimiento en aplicaciones que involucran la integración y extracción de diversas fuentes de datos a gran escala, desempeñando un papel clave en el análisis de datos y la gestión del conocimiento. Su capacidad para modelar relaciones complejas y representar datos de manera semántica permite la generación de inferencias, facilitando la identificación de patrones y tendencias en grandes volúmenes de información. Gracias a estas características, su aplicación se extiende a diversos dominios, incluyendo la automatización de procesos y la toma de decisiones en dominios complejos.

En un entorno donde la cantidad de información es vasta y diversa, estructurar y analizar datos en contextos complejos representa un desafío importante. Si bien los grafos de conocimiento ofrecen una forma eficiente de organizar esta información, el proceso de extracción de patrones significativos sigue siendo un reto. Estos patrones son estructuras, conexiones o tendencias que surgen en los datos y poseen un significado informativo, anticipatorio o interpretativo. En este marco, las técnicas de *clustering* surgen como una alternativa eficaz para identificar estructuras ocultas en los datos, agrupando elementos con características similares para facilitar su análisis e interpretación.

Los grafos de conocimiento tienen una amplia gama de aplicaciones en diversos dominios (Delgado Fernández, Cárdenas, Lis, & Delgado Fernández, 2021), se utilizan en sistemas de integración de información empresarial, para conectar y organizar datos de múltiples fuentes, en sistemas de recomendación para personalizar experiencias de usuario, y en agentes conversacionales para mejorar la comprensión del lenguaje natural. También son clave en vigilancia tecnológica e inteligencia empresarial, facilitando el análisis de tendencias e innovaciones. Además, se emplean en evaluación y mitigación de riesgos, rastreo de eventos de noticias para detectar y relacionar información relevante, y en la creación de comunidades enlazadas de usuarios, optimizando la conexión y colaboración entre individuos. No obstante, su alcance sigue expandiéndose, y cada vez surgen nuevos ámbitos de aplicación para los grafos de conocimiento.

Un dominio que puede explorarse para utilizar los grafos de conocimiento es la gestión de la ergonomía en las cadenas de suministro, ya que es un aspecto crítico que suele recibir atención insuficiente en las prácticas laborales de muchas empresas (Rodríguez-Gámez, Maldonado-Macías, & Naranjo Flores, 2024), la falta de implementación efectiva de prácticas ergonómicas genera dificultades considerables que afectan tanto el bienestar de los empleados como la eficiencia operativa de las organizaciones. En estas cadenas de suministro, los trabajadores enfrentan elevados riesgos

ergonómicos derivados de tareas como la manipulación de cargas pesadas y la realización de actividades repetitivas, lo que incrementa la incidencia de lesiones y trastornos musculoesqueléticos. Estas problemáticas no solo deterioran la calidad de vida de los trabajadores, sino que también afectan negativamente la competitividad empresarial, al generar elevados costos económicos asociados a la disminución de la productividad y a gastos médicos significativos.

En respuesta a esta situación, el presente proyecto se enfoca en aplicar técnicas avanzadas de análisis de datos, como los grafos de conocimiento y el *clustering*, para examinar y comprender la información recabada a través de un instrumento de evaluación dirigido a empleados de distintos niveles jerárquicos. Este enfoque busca estructurar y visualizar las relaciones y conceptos relevantes en el ámbito de la gestión de la ergonomía dentro de las cadenas de suministro, utilizando grafos de conocimiento que permitan una representación clara y efectiva del dominio.

Diversos estudios han explorado el uso de grafos de conocimiento en la extracción y análisis de información, así como la aplicación de *clustering* para segmentar datos. Sin embargo, la combinación de ambos enfoques para evaluar el índice de gestión de la ergonomía en entornos laborales sigue siendo un área poco investigada. Este trabajo busca abordar esta brecha mediante el desarrollo de una solución basada en grafos de conocimiento y técnicas de *clustering*, "El *clustering*, o agrupamiento es un "método que clasifica elementos similares en conjuntos, facilitando la detección de patrones en los datos" (Chaoui Benabdellah, Benghbrit, & Bouhaddou, 2018), para identificar y medir factores ergonómicos en el ámbito laboral.

El enfoque propuesto tiene como objetivo identificar patrones y analizar datos mediante consultas que permitan una interpretación rápida de la información, facilitando la toma de decisiones tempranas para optimizar las prácticas ergonómicas. La mejora en las prácticas ergonómicas no solo contribuiría a la reducción de lesiones laborales, sino que también podría incrementar la calidad de vida de los trabajadores y, en consecuencia, mejorar la eficiencia operativa de las empresas.

Para ello, se llevó a cabo un análisis del dominio mediante la creación de una ontología, una representación formal del conocimiento que define conceptos, relaciones y reglas dentro de un dominio específico (Gruber, 1993), el objetivo es implementarla posteriormente en grafos de conocimiento y *clustering*, así como en la aplicación de metodologías como *KMos-SSA*, que nos permite extraer el conocimiento tácito y explícito de los especialistas del dominio.

Un dominio complejo con estructura informal surge cuando un grupo de individuos o especialistas colabora dentro de una organización o contexto sin seguir una estructura formal estricta (Olmos-Sánchez & Rodas-Osollo, 2017), en estos entornos, el conocimiento se comparte tanto de manera

tácita como explícita entre los miembros, y la toma de decisiones no sigue una jerarquía establecida o claramente definida. La aplicación de esta metodología facilitó la comprensión de los conceptos clave, permitiendo un análisis más profundo de la ergonomía en el contexto de las cadenas de suministro.

El resto de este documento se estructura de la siguiente manera: el Capítulo 2 aborda el marco referencial, Grafos de conocimiento, *clustering* y ergonomía; el Capítulo 3 detalla la metodología empleada en la elicitación del conocimiento; el Capítulo 4 presenta los resultados obtenidos; y finalmente, el Capítulo 5 expone las conclusiones y plantea posibles líneas de investigación futura.

1.1 Antecedentes

El estudio de la ergonomía en el ámbito industrial tiene sus orígenes en la década de 1940, cuando se inició el análisis de las condiciones laborales con el propósito de adecuar las tareas a las capacidades humanas. A medida que la tecnología ha avanzado, la ergonomía se ha consolidado como una disciplina esencial para mejorar la seguridad, la salud y la eficiencia de los trabajadores y los procesos que pueden llevar a cabo.

En la actualidad la ergonomía sigue desempeñando un papel importante en la optimización de la productividad (Shyamsunder, 2023), con el paso del tiempo, la cadena de suministro ha sido objeto de múltiples estudios y mejoras, evolucionando en función de los avances tecnológicos y los cambios en el sector industrial.

En este contexto, como hace mención (Rodríguez-Gómez I. F., et al., 2025), la Gestión de Ergonomía (GE) ha surgido como un concepto en evolución y un proceso clave en las empresas que forman parte de las Cadenas de Suministro (CS), con el objetivo de evaluar la ergonomía de manera integral. En este marco, las prácticas de colaboración (PrC) desempeñan un papel fundamental en la mejora de la eficiencia y productividad, así como en la prevención y evaluación de riesgos ergonómicos. Para identificar las PrC más efectivas dentro de la CS en relación con la GE, se llevó a cabo un estudio que incluyó una revisión de literatura y el diseño de un cuestionario digital basado en preguntas tipo Likert sobre estas prácticas. Este cuestionario fue respondido por un grupo de expertos y posteriormente analizado. Los resultados revelaron dos constructos principales (proveedores y clientes) y doce elementos clave. A partir de las respuestas de los expertos, se concluyó que las prácticas más eficaces incluyen el compromiso gerencial, la planificación y el intercambio de experiencias sobre factores de riesgo, acciones preventivas y medidas de control entre empresas.

Por otro lado, como mencionan (Deng , Chen, Hauang, Chen, & Cheng, 2023), la construcción de un Grafo de Conocimiento Lógico (LKG) con el objetivo de mejorar la gestión de la cadena de

suministro (SCM) en empresas manufactureras. En la cual el estudio propone un enfoque basado en redes generativas adversariales (GAN) para superar desafíos como la falta de datos etiquetados y la representación inexacta de eventos debido a la semántica dispersa. El problema central que se identifica es la dificultad de reconocer y relacionar entidades dentro de un entorno específico de SCM, lo que limita la eficiencia de los procesos. En este contexto, se desarrolló un modelo que, además de usar datos etiquetados, incorpora muestras no etiquetadas para mejorar el reconocimiento de patrones y relaciones, optimizando la toma de decisiones y reduciendo costos operativos. Este enfoque resulta relevante para nuestro proyecto, ya que también se enfoca en mejorar la gestión de la cadena de suministro mediante la optimización y estructuración del conocimiento.

Asimismo, la investigación que presenta (Kosasih, et al., 2022) hace un enfoque híbrido basado en *inteligencia artificial* (IA) para detectar riesgos ocultos en las cadenas de suministro, los cuales surgen de relaciones no evidentes entre las entidades dentro de la cadena. Para abordar esta problemática, se utiliza una combinación de Redes Neuronales y *Knowledge Graph* (KG), lo que permite inferir nuevos conocimientos a partir de las relaciones ocultas en los datos disponibles, mejorando así la detección de riesgos y su gestión. En la actualidad, las cadenas de suministro modernas contienen riesgos difíciles de identificar con los métodos tradicionales de recopilación de información, como encuestas a proveedores, que dependen de la disposición de estos y de la precisión de los datos. El objetivo del estudio es desarrollar un método basado en IA para detectar estos riesgos ocultos, permitiendo a los gestores anticipar y mitigar los riesgos mediante la inferencia de conocimientos que no están explícitamente presentes en los datos. En la cual los resultados muestran que el enfoque propuesto permite realizar consultas complejas sobre los riesgos, más allá de las simples relaciones de quién suministra a quién, utilizando dos conjuntos de datos de los sectores automotriz y energético. Este trabajo se relaciona con nuestra investigación sobre el análisis de grafos en Neo4j, ya que nos facilita el estudio y la representación de datos de una forma más clara y comprensible.

1.2 Definición del Problema

La gestión ergonómica en la cadena de suministro enfrenta obstáculos significativos que ponen en riesgo la salud y el bienestar de los empleados, así como la eficiencia operativa. La falta de conocimiento y conciencia sobre los beneficios de la ergonomía tanto entre la dirección como los trabajadores conduce a la falta de acción en la implementación de soluciones ergonómicas. Esto resulta en un aumento de las lesiones laborales y una disminución de la productividad.

Además, los desafíos económicos en las empresas limitan la adquisición de equipos y herramientas ergonómicas necesarios para mejorar las condiciones de trabajo. Las cadenas de suministro, con

múltiples actores involucrados, dificulta la implementación de medidas uniformes de gestión ergonómica y la adopción de estándares consistentes en todos los niveles.

Estos obstáculos financieros y logísticos dificultan la adopción de medidas ergonómicas y restringen la protección de la salud y el bienestar de los empleados. Se requiere una mayor conciencia, inversión y coordinación en toda la cadena de suministro para superar estos desafíos y promover un entorno laboral ergonómico y seguro.

En este trabajo se está desarrollando una solución analítica que forma parte del proyecto de investigación correspondiente al trabajo de doctorado titulado “*Índice de Gestión de Ergonomía para la Sostenibilidad Social de la Cadena de Suministro de la Industria Minera Superficial Mexicana: Caso de la Sal en el Sur de Sonora*” (Rodríguez-Gámez, Maldonado-Macías, & Naranjo Flores, 2024), el cual tiene como objetivo principal desarrollar un índice de Gestión de Ergonomía para la sostenibilidad social de la cadena de suministro de la industria minera superficial mexicana: caso de la sal en el sur de Sonora. Para cumplir este objetivo, se llevó a cabo un caso de estudio en una empresa dedicada a la extracción y procesamiento de sal, lo cual permitió aplicar y validar el enfoque propuesto en un entorno real.

Actualmente, la empresa hace un análisis del índice de gestión de la ergonomía de su cadena de suministro utilizando herramientas básicas de ofimática, como procesadores de texto y hojas de cálculo, para llevar a cabo estas evaluaciones. Sin embargo, estas soluciones presentan limitaciones importantes, ya que no permiten realizar análisis exhaustivos ni aprovechar los beneficios de las tecnologías más avanzadas. Esto resulta en procesos más lentos, menor precisión en el procesamiento de datos y dificultades para identificar patrones o áreas críticas que podrían optimizarse.

Por ello, se plantea la incorporación de tecnologías avanzadas, como los grafos de conocimiento y la clusterización, que ofrecen mayores capacidades para gestionar y analizar datos complejos. Los grafos de conocimiento posibilitan la estructuración detallada de la información, mostrando conexiones entre elementos clave, como el personal, las operaciones y los factores relacionados con la ergonomía. Por su parte, la clusterización nos permite clasificar y agrupar datos similares para identificar tendencias y puntos críticos de forma más ágil. La integración de estas herramientas no solo mejorará la precisión y profundidad del análisis, sino que también permitirá tomar decisiones estratégicas con mayor rapidez, fomentando una gestión más eficiente, sostenible y preparada para enfrentar los desafíos actuales para el análisis de los datos.

1.3 Objetivo General

Desarrollar una solución analítica mediante grafos de conocimiento y clustering aplicando la metodología KMoS-SSA para mejorar la toma de decisiones sobre el índice de gestión ergonómica en la cadena de suministro de la industria minera y de la sal.

1.3.1 Objetivos Específicos:

1. Hacer un análisis cognitivo del dominio del índice de gestión de la ergonomía en las cadenas de suministro en la empresa de minería y sal utilizando la metodología *KMoS-SSA*.
2. Desarrollo de la solución analítica que utilice grafos de conocimiento y *clustering* para el índice de gestión de la ergonomía en las cadenas de suministro en la empresa de minería y sal.
3. Validar con el especialista del dominio la solución analítica que utilice grafo de conocimiento y *clustering* para el índice de gestión de la ergonomía en las cadenas de suministro en la empresa de minería y sal.

1.4 Justificación

La gestión de la ergonomía desempeña un papel fundamental en la salud de los trabajadores y en la eficiencia de las organizaciones. La ausencia de herramientas que faciliten el análisis de los datos dificulta la detección de patrones en estos y la toma de decisiones basadas en evidencia, lo que puede resultar en entornos laborales inadecuados y problemas operativos para las empresas.

Asimismo, el incumplimiento de normativas y estándares ergonómicos puede generar diversas consecuencias negativas para las empresas. Entre ellas, la posible pérdida de clientes o contratos, dado que actualmente se valora cada vez más la seguridad y el bienestar de los trabajadores. Además, no acatar las regulaciones pertinentes puede conllevar sanciones económicas y afectar tanto la reputación como la estabilidad financiera de las organizaciones.

La falta de una adecuada gestión ergonómica puede incrementar los riesgos en la seguridad laboral, generar ineficiencias en los procesos, reducir el rendimiento y afectar la calidad del trabajo. Estos factores no solo impactan la productividad, sino también la salud y el bienestar del personal, lo que a su vez puede traducirse en mayores costos asociados al ausentismo, la rotación de empleados y las indemnizaciones por accidentes o enfermedades laborales.

Frente a estos desafíos, resulta esencial el desarrollo de herramientas que facilite a las organizaciones el análisis de datos relacionados con la gestión del índice de la ergonomía. En este sentido, los grafos de conocimiento y las técnicas de *clustering* ofrecen una alternativa innovadora para optimizar la gestión ergonómica. Estas tecnologías permiten no solo estructurar la información de manera eficiente, sino también identificar patrones que contribuyan a mejorar la toma de decisiones en este ámbito.

1.5 Alcance, Limitaciones e Impacto

El alcance de esta investigación se enfoca en la implementación de técnicas avanzadas de análisis de datos, como los *grafos de conocimiento*, *clustering*, la metodología *KMOS-SSA* en conjunto con la metodología de sistemas blandos las cuales son de gran ayuda para el entendimiento del dominio en la elicitación del conocimiento. El estudio abarcará la recopilación de datos a través de encuestas a empleados de diversos niveles jerárquicos, con el fin de evaluar las percepciones relacionadas con los riesgos ergonómicos presentes en las tareas de la cadena de suministro. Los resultados se analizarán utilizando grafos de conocimiento para mapear relaciones entre factores ergonómicos y aplicar *clustering* para identificar patrones y segmentos específicos dentro de los datos.

1.5.1 Limitaciones

Una de las principales limitaciones de este proyecto es la dependencia de la percepción de los empleados. Dado que los datos se basan en la percepción de los trabajadores sobre su entorno laboral, pueden no reflejar con precisión la realidad de las condiciones de trabajo, lo que puede generar sesgos en el análisis y limitar la efectividad de las soluciones propuestas.

1.5.2 Impacto

El impacto esperado de esta investigación será significativo tanto para los trabajadores como para las empresas en las cadenas de suministro. La mejora de las prácticas ergonómicas contribuirá a la reducción de lesiones laborales y trastornos musculoesqueléticos, mejorando la calidad de vida de los empleados y reduciendo el ausentismo y los costos asociados con el tratamiento médico. Esto también contribuirá a un ambiente de trabajo más saludable y satisfactorio, lo que podría aumentar la moral de los empleados y su productividad.

Para las empresas, la adopción de estrategias ergonómicas basadas en datos permitirá optimizar las operaciones, reducir costos relacionados con la salud laboral y mejorar la competitividad. El análisis de los riesgos ergonómicos a través de herramientas de *clustering* y grafos de conocimiento proporcionará una visión más detallada de las áreas de intervención prioritarias, permitiendo una asignación más eficiente de recursos. Además, el alineamiento de las prácticas ergonómicas con las metas estratégicas de la empresa asegurará que las mejoras no solo sean de corto plazo, sino que contribuyan a la sostenibilidad y el crecimiento organizacional a largo plazo.

Además, la integración de grafos de conocimiento y *clustering* contribuirá a la creación de soluciones tecnológicas avanzadas para el análisis de la gestión de la ergonomía, facilitando la toma de decisiones informadas. En términos más amplios, este trabajo puede influir en la evolución de las prácticas de salud ocupacional, promoviendo el uso de tecnologías innovadoras para el monitoreo y mejora de las condiciones laborales.

II. Marco Referencial

En esta sección se explicarán los elementos clave para el desarrollo del proyecto. Se abordará la metodología *KMOS-SSA*, que proporciona las bases teóricas para comprender el dominio. Además, se describirán los conceptos de grafos de conocimiento y *clustering*, los cuales serán analizados e implementados en el dominio, permitiendo una representación detallada de los conceptos involucrados.

Además, se explicarán, en particular, las definiciones de conocimiento, conocimiento explícito y tácito. se integrarán los conceptos básicos con un ejemplo del índice de gestión de la ergonomía en las cadenas de suministro, proporcionando una representación detallada de los conceptos relacionados con la ergonomía, la evaluación y los estándares aplicables al instrumento del cual se encuentra creado el instrumento.

2.1 Dominios de Estructura Informal

Como menciona (Olmos-Sánchez & Rodas-Osollo, 2017), los Dominios de Estructura Informal (DEI) se caracterizan por albergar tanto conocimiento tácito como explícito, que se distribuye entre varios especialistas con distintas formaciones y niveles de experiencia. Esto genera un entorno complejo en el que las perspectivas y conocimientos individuales convergen. Los DEI se encuentran en la intersección entre la ingeniería del conocimiento y la ingeniería de requisitos, lo que complica la captura y gestión de información. Este reto surge de la falta de una estructura rígida y de la flexibilidad inherente de estos entornos, lo que requiere métodos adaptativos para manejar el conocimiento de manera efectiva.

En la actualidad, (Olmos-Sánchez K. , Rodas-Osollo , Fernández Martínez, & Morales Rocha, 2015), las empresas de desarrollo de software enfrentan el desafío de gestionar el conocimiento tácito, que es información valiosa que, por diversas razones, permanece inaccesible para los desarrolladores. Este obstáculo impacta negativamente en la elicitación y el descubrimiento de requisitos, lo que lleva a que los productos finales no satisfagan las expectativas y necesidades de los clientes o usuarios.

2.2. Dominios Complejos de Estructura Informal

Hoy en día, el desarrollo y la conceptualización de soluciones de *inteligencia artificial* demandan un equipo de trabajo transdisciplinario con conocimientos muy especializados debido a la complejidad de estas soluciones. Este equipo, generalmente ajeno al dominio específico en el que se implementará la solución, se enfrenta a la creación de lo que se conoce como un Dominio Complejo de estructura informal (DCEI, por sus siglas en inglés) (Olmos-Sánchez K. , Rodas-Osollo, Maldonado-Macías, & Jiménez-Galina, 2024). Además, el conocimiento altamente especializado, aunque sea parcialmente explícito o completamente explícito, tiende a ser informal y suele presentar una estructura de información deficiente.

En general, los DCEI se caracterizan por un alto grado de ambigüedad e incertidumbre. El DCEI se caracteriza por la presencia de sus actores, quienes incluyen sus procesos cognitivos, comportamientos e interacciones con diversas entidades. Los componentes dentro de este dominio muestran interconexiones complejas que abarcan diferentes niveles de conocimiento y experiencia, con límites difusos por naturaleza. Como consecuencia, el trabajo colaborativo se desarrolla de manera social, cultural, intuitiva y consensuada. Los actores comparten interconexiones que contienen tanto información explícita bien estructurada como conocimiento débilmente estructurado o no estructurado. Estos elementos contribuyen a comprender la naturaleza del problema o necesidad. Así, surgen múltiples perspectivas del fenómeno que define el dominio complejo, lo que da lugar a una o más alternativas para abordarlo, con o sin una solución algorítmica.

La representación visual del DCEI (Olmos-Sánchez K. , Rodas-Osollo, Maldonado-Macías, & Jiménez-Galina, 2024) se muestra en la siguiente figura. El Dominio de Aplicación (área del problema) describe el dominio en el que los Especialistas del Dominio (DS) tienen una participación activa. Estos especialistas provienen de diversas disciplinas, poseen conocimientos parciales según su rol y pueden desempeñar uno o más roles. El conocimiento de los DS puede ser explícito (representado por las piezas del rompecabezas), aunque mayoritariamente es tácito, informal, no homogéneo y carece de estructura. Los conceptos y relaciones en este dominio se caracterizan por la ambigüedad y derivan del contexto y la experiencia de los DS. El comportamiento del dominio es dinámico y emergente, con un flujo complejo de eventos e ideas que evolucionan con el tiempo, influenciados por fuentes tanto internas como externas. Además, los DS tienen una visión parcial del dominio de aplicación y diferentes perspectivas sobre las situaciones problemáticas (representadas por nubes), aunque comparten conocimiento. Se espera que cada DS esté comprometido en mejorar la situación problemática con la intención de generar mejoras.

El Dominio de Solución está compuesto por un grupo de Proveedores de Soluciones (SP), con el Arquitecto Cognitivo liderando el grupo y supervisando los procesos de negociación con los DS a través de una red colaborativa. Los Proveedores de Soluciones también cuentan con conocimiento tácito y explícito, que contribuye al desarrollo de soluciones efectivas, viables y deseables.

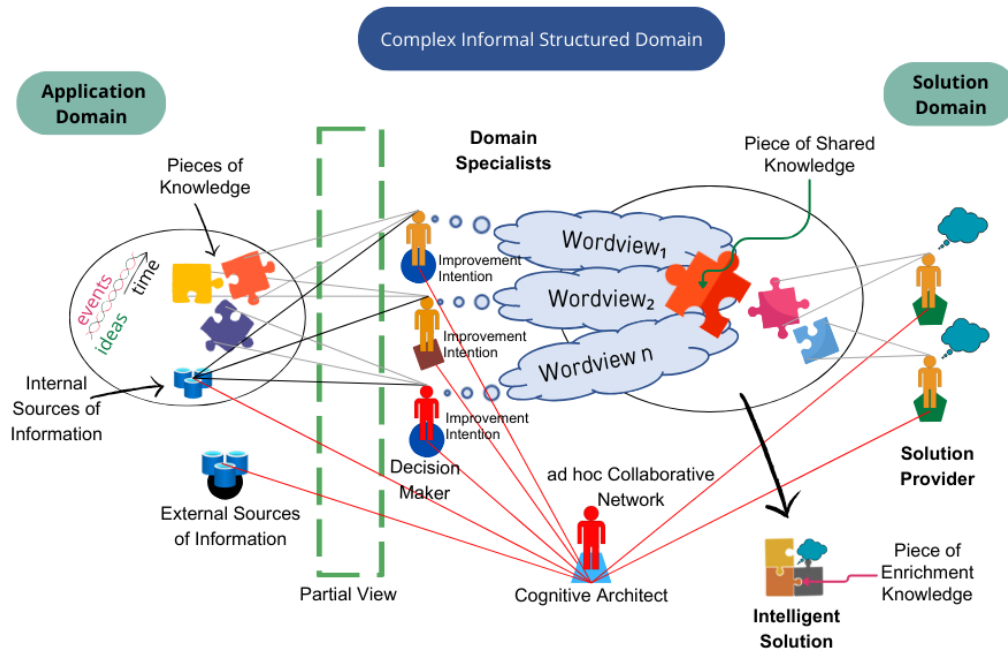


Figura 2.1 Dominio Complejo de estructura Informal Fuente: (Olmos-Sánchez K. , Rodas-Osollo, Maldonado-Macias, & Jiménez-Galina, 2024).

2.3. Conocimiento

“El conocimiento es un fenómeno dinámico que ha evolucionado a lo largo del tiempo, influenciado por el contexto histórico y tecnológico”. En la era premoderna, se transmitía principalmente a través de la tradición oral y la experimentación empírica, mientras que en la modernidad se consolidó mediante el método científico y la innovación tecnológica. Actualmente, en la era posmoderna, el conocimiento se ve transformado por la digitalización y la *inteligencia artificial*, lo que plantea nuevas interrogantes sobre su naturaleza y su relación con la realidad. La *inteligencia artificial*, al integrar avances en informática, neurociencia y teoría de la información, está redefiniendo nuestra comprensión del conocimiento, evidenciando su carácter evolutivo y su interconexión con el desarrollo tecnológico y el pensamiento científico (Pérez Palencia1, 2024).

2.3.1. Conocimiento Explícito

El conocimiento explícito se refiere a la información formal que se obtiene a través de la literatura científica y documentos especializados, como guías de práctica, protocolos estandarizados de actuación y libros, entre otros (Pérez-Fuillerat, Solano-Ruiz, & Amezcua, 2017).

El científico y filósofo Michael Polanyi, en los años 1950, establece la utilización por el ser humano de dos tipos de conocimiento: el conocimiento explícito y el conocimiento tácito, combinados en el desarrollo de los procesos cognitivos. Este autor afirma que ni el conocimiento más explícito está carente de conocimiento tácito, ya que la utilización del mismo se realiza en un contexto determinado, vinculado a unos principios éticos y morales, la propia cultura y las vivencias personales del individuo. El conocimiento explícito hace referencia a la información formal obtenida mediante la literatura científica y documentos especializados, como las guías de práctica, los protocolos de actuación estandarizada y los libros, entre otros.

2.3.2. Conocimiento Tácito

El conocimiento tácito hace referencia a aquel tipo de saber que se emplea de forma intuitiva e inconsciente, y que se desarrolla a partir de la experiencia personal. Este tipo de conocimiento es subjetivo y depende del contexto, ya que se ve influenciado por las experiencias individuales y las circunstancias en las que se utiliza (Pérez-Fuillerat, Solano-Ruiz, & Amezcua, 2017).

Se ha descrito utilizando términos como intuición, saber cómo. En los campos de la gestión, el conocimiento tácito se reconoce como una herramienta clave para generar conocimiento y tomar decisiones efectivas en diferentes campos.

Como menciona Pérez-Fuillerat *et al*, Polanyi plantea la frase «*We know more than we can tell*» (Sabemos más de lo que podemos contar) para introducir su teoría sobre el conocimiento tácito. Según este autor, realizamos acciones sin ser plenamente conscientes de la información que utilizamos para llevarlas a cabo. El conocimiento tácito se asocia con conceptos como intuición, instinto, conocimiento personal, conocimiento práctico y experiencia.

2.4. Técnicas de Representación de Conocimiento

Las técnicas de representación del conocimiento, como los grafos de conocimiento, son fundamentales para estructurar y analizar información de manera efectiva en áreas como *inteligencia artificial* y análisis de datos. Los grafos de conocimiento estructuran los datos mediante nodos y aristas. Esta metodología se utiliza en aplicaciones como motores de búsqueda, sistemas de recomendación y análisis de redes complejas, gracias a su capacidad para combinar datos de distintas fuentes y ofrecer una perspectiva relacional.

2.4.1. Grafos de Conocimiento

El uso de grafos de conocimiento según lo señalado por (Al-Moslmi, Gallofré Ocaña, Lothe Opdahl, & Veres, 2020), se basan en un modelo de datos estructurado en nodos y aristas que facilita la gestión, integración y extracción de información en diferentes áreas. En comparación con los modelos relacionales tradicionales, los grafos de conocimiento ofrecen ventajas significativas, proporcionando una representación intuitiva y comprensible para múltiples dominios.

Como indica (Chun, Laublet, & Stankovic, 2016), una de las principales fortalezas de los grafos de conocimiento es su flexibilidad, ya que no requieren la definición inicial de un esquema rígido, permitiendo que los datos evolucionen y se adapten dinámicamente. Los lenguajes de consulta para grafos no solo ejecutan operaciones estándar como uniones, sino que también permiten explorar entidades conectadas mediante caminos de longitud variable. Asimismo, es posible emplear ontologías y reglas para interpretar y definir la semántica de los términos representados en el grafo. Las herramientas escalables para el análisis de grafos facilitan cálculos como el agrupamiento, proporcionando nuevas perspectivas sobre los datos estudiados.

Recientemente, se han desarrollado técnicas prometedoras que integran el aprendizaje automático y Soft-Computing con grafos de conocimiento, abriendo oportunidades para su aplicación en una variedad de contextos analíticos.

Nodos, relaciones y atributos

La representación de los datos en un grafo se fundamenta en un modelo flexible que posibilita representar entidades y sus interconexiones de manera eficaz (ANGLES, et al., 2016), para lograrlo, es esencial emplear ciertos elementos que favorecen la organización y asociación de la información dentro del grafo. Estos componentes sirven como base para desarrollar modelos de datos que faciliten análisis más profundos y la obtención de conocimiento a partir de las relaciones definidas en diversos ámbitos.

Nodos

Los nodos nos ayudan en la representación de entidades o conceptos individuales en un grafo, siendo la base estructural del mismo. Cada nodo puede incluir atributos que brindan detalles adicionales sobre sus propiedades. En las bases de datos de grafos, los nodos son esenciales para modelar objetos del mundo real, como personas, productos, lugares o eventos, lo cual facilita el análisis de datos fuertemente interconectados.

Además, los nodos pueden ser organizados mediante etiquetas o categorías, lo que permite una mejor organización y la realización de consultas más específicas en el grafo. Esta estructura flexible y organizada convierte a los grafos en herramientas poderosas para modelar relaciones complejas en áreas como redes sociales y análisis de conocimiento.

Relaciones

Las relaciones en un grafo representan las conexiones o interacciones entre los nodos, agregando contexto y estructura a los datos.

Las relaciones pueden ser dirigidas o no dirigidas, según la naturaleza de la conexión entre los nodos. Asimismo, pueden incluir atributos que describen la relación, proporcionando detalles como fechas, pesos o niveles de relevancia.

Atributos

Los atributos son pares de clave-valor que añaden información extra tanto a los nodos como a las relaciones dentro de un grafo. Estos atributos enriquecen los modelos de datos, proporcionando detalles adicionales que facilitan la clasificación, búsqueda y análisis de la información almacenada.

En los nodos, los atributos pueden incluir datos como nombres, fechas de nacimiento o ubicaciones, mientras que en las relaciones pueden reflejar características como el tipo de conexión, la duración o el nivel de confianza. Esta particularidad en la representación de datos mejora significativamente la capacidad de realizar consultas y análisis, optimizando el rendimiento de aplicaciones que requieren modelos de datos interconectados.

2.4.2. Ontologías

Como menciona (Gruber, 1993), una ontología es una especificación explícita de una conceptualización, lo que significa que una ontología representa formalmente el conocimiento dentro de un dominio específico mediante la definición de conceptos, sus propiedades y las relaciones entre ellos. En términos prácticos, una ontología permite estructurar información de manera lógica y coherente, facilitando su interpretación tanto por humanos como por sistemas computacionales. Al establecer una jerarquía de clases y subclases, junto con atributos y reglas de inferencia, las ontologías proporcionan un marco estructurado para la organización del conocimiento. En el ámbito de la informática y la inteligencia artificial, las ontologías desempeñan un papel clave en la interoperabilidad de sistemas, la integración de datos y el desarrollo de aplicaciones basadas en el razonamiento automático. Su aplicación es fundamental en áreas como la gestión del conocimiento, el procesamiento del lenguaje natural y la web semántica, donde permiten representar información de manera estandarizada y reutilizable.

2.4.3. Modelos de Representación RDF y OWL

Los modelos de representación de datos en grafos de conocimiento permiten estructurar y organizar información de manera eficiente, facilitando su procesamiento y análisis. Se han desarrollado diferentes enfoques que proporcionan estándares y metodologías para modelar el conocimiento de una forma semánticamente enriquecida.

Algunos de estos modelos están diseñados para capturar no solo la estructura de los datos, sino también sus significados y relaciones, permitiendo una mejor integración y reutilización de la información en distintos dominios. Gracias a estos enfoques, es posible construir sistemas de conocimiento más robustos que favorecen la inferencia, el razonamiento automático y la vinculación de datos en entornos complejos.

2.4.3.1. RDF

El framework utilizado para la creación de la ontología fue el siguiente (Resource Description Framework) que como menciona (Bechhofer, Harmelen, Hendler, & Horrocks, 2004) es un marco estándar que facilita la representación de datos organizados de forma estructurada en la web semántica. Este modelo se basa en tripletas que describen las relaciones entre los recursos, compuestas por tres elementos: sujeto, predicado y objeto. En el ámbito de OWL, RDF sirve como la base sobre la cual OWL añade significados adicionales a las tripletas, mejorando la capacidad de razonamiento y expresión.

OWL nos ayuda en ampliar el vocabulario de RDF, lo que implica que cualquier grafo RDF se considera una ontología. No obstante, OWL agrega significados adicionales a determinadas tripletas de RDF, lo que permite crear modelos de datos más sofisticados, pero siempre respetando la semántica definida por RDF. Mientras RDF organiza los datos de manera estructurada, OWL introduce una capa adicional para establecer relaciones más complejas y restricciones entre esos datos.

Estructura de RDF

RDF se basa en un modelo de tripletas, que consta de tres elementos:

Sujeto → El recurso que se describe.

Predicado → La propiedad o relación del recurso.

Objeto → El valor o el recurso relacionado.

2.4.3.2. OWL

Para la creación de la ontología del índice de gestión de la ergonomía utilizamos OWL (Web Ontology Language) el cual amplía el vocabulario de RDF (Resource Description Framework), que como menciona (Bechhofer, Harmelen, Hendler, & Horrocks, 2004) nos ofrece una mayor capacidad para modelar conocimiento en la web semántica que busca dotar a los datos de un significado estructurado para que puedan ser interpretados y procesados automáticamente por las máquinas. Gracias a OWL, es posible definir ontologías más detalladas al añadir significado extra a RDF, sin perder compatibilidad con la semántica de RDF. Esto permite organizar datos a través de clases, propiedades, restricciones y axiomas que nos ayuda con las reglas o principios lógicos utilizados para definir relaciones y restricciones dentro de una ontología, lo que facilita su representación y el razonamiento dentro de un grafo RDF.

2.4.4. Algoritmos de Análisis y Clustering

El estudio de grafos de conocimiento requiere técnicas especializadas para extraer patrones, identificar relaciones y estructurar grandes volúmenes de datos interconectados. Existen diversos métodos que permiten evaluar la importancia de los nodos, detectar comunidades y organizar la información de manera eficiente.

2.4.5. Clustering

El *clustering* funge como una herramienta clave en la ciencia de datos que permite identificar agrupaciones dentro de un conjunto de datos, buscando que los elementos dentro de un clúster sean altamente similares entre sí y, al mismo tiempo, lo más distintos posible de los elementos de otros clústeres (P. SINAGA & YANG, 2020), además, el *clustering* se considera una técnica de aprendizaje no supervisado dentro del aprendizaje automático.

En términos generales, los métodos particionales asumen que los datos se pueden representar mediante un número limitado de prototipos de clúster, cada uno con su propia función objetivo. Por esto, la definición de la distancia entre un punto y un prototipo de clúster es clave. El algoritmo *k-means* es el más antiguo y popular de los métodos particionales. Este algoritmo ha sido ampliamente investigado, con varias extensiones y aplicaciones en campos como segmentación de clientes, análisis de texto y biología computacional, Sin embargo, los algoritmos *k-means* suelen ser sensibles a las condiciones iniciales y requieren que el número de clústeres se defina previamente.

2.4.5.1. Clustering Basado en Similitud

El *clustering* basado en similitud es una técnica que nos ayuda en el agrupamiento que organiza elementos según sus características compartidas, utilizando medidas de proximidad para identificar patrones dentro de los datos. Para lograr una agrupación efectiva, se emplean distintos algoritmos, entre los que se encuentra *K-Means*, permitiendo una mejor estructuración y comprensión de la información en conjuntos de datos complejos.

2.4.5.2. Algoritmo de Análisis K-Means

El algoritmo *k-means* es ampliamente empleado en *clustering* dentro del campo del aprendizaje automático y el reconocimiento de patrones (P. SINAGA & YANG, 2020), destacando por su simplicidad y eficiencia. No obstante, presenta una limitación clave: es necesario definir de antemano la cantidad de *clusters*, lo que puede impactar la precisión de la agrupación si el valor seleccionado no es el adecuado. Asimismo, su rendimiento puede verse afectado por la inicialización de los centroides, lo que puede generar resultados variables e inconsistentes en distintas ejecuciones.

2.4.5.3. Bases de Datos de Grafos

Las Bases de Datos de Grafos constituyen un modelo de almacenamiento y gestión de información diseñado específicamente para manejar datos con un alto nivel de interconectividad (Robinson, Webber, & Eifrem, 2015), a diferencia de las bases de datos relacionales, que estructuran la información en tablas, este modelo emplea nodos para representar entidades, relaciones para definir los vínculos entre ellas y atributos que enriquecen estos elementos con información adicional.

2.4.5.4. Neo4j

Para el almacenamiento de los datos y su posterior análisis se decidió utilizar Neo4j ya que está diseñado para gestionar información altamente interconectada mediante una estructura basada en nodos, que representan entidades; relaciones, que establecen conexiones entre ellos; y propiedades, que almacenan información adicional. A diferencia de los sistemas relacionales, que organizan los datos en tablas, este modelo permite una representación más intuitiva y flexible, similar a un esquema visual en una pizarra (Robinson, Webber, & Eifrem, 2015), su principal ventaja es la capacidad de adaptarse sin restricciones de esquemas predefinidos, facilitando la evolución del modelo de datos según las necesidades del proyecto. En este tipo de bases, los nodos pueden incluir etiquetas que los clasifiquen dentro de un dominio específico, mientras que las relaciones poseen un tipo definido, dirección y en algunos casos, propiedades adicionales. Gracias a esta estructura, las bases de datos de grafos optimizan el análisis de datos complejos y las consultas sobre redes interconectadas.

2.5. Gestión de la Ergonomía

Para los propósitos de este proyecto (Rodríguez-Gómez, Maldonado-Macías, & Naranjo Flores, 2024), la Gestión de Ergonomía se entiende como el conjunto de procedimientos y acciones orientadas a identificar los factores de riesgo ergonómico, planificar y ejecutar un programa de ergonomía, establecer el control de riesgos y peligros mediante buenas prácticas, y definir objetivos para reducir o eliminar estos riesgos en los sistemas hombre-máquina y los ambientes laborales. La filosofía de mejora continua es fundamental para el desarrollo del modelo de evaluación de la GE, el cual abarca los componentes de planificar, ejecutar, verificar y actuar. También se incorporan el liderazgo y la participación de los trabajadores.

2.5.1. Cadena de Suministro

Otro concepto fundamental es el de la Cadena de Suministro que es definida por (Rodríguez-Gómez, Maldonado-Macías, & Naranjo Flores, 2024), como un conjunto de empresas integradas que comparten información y coordinan la ejecución física de sus operaciones, permitiendo un flujo continuo e integrado de bienes, servicios, información y efectivo. Otra perspectiva la describe como

la integración de funciones clave de negocio que se extienden hasta el usuario final, a través de proveedores que ofrecen productos, servicios e información con valor añadido para el cliente y otros grupos de interés. Además, abarca los procesos empresariales, el personal, la organización, la tecnología y la infraestructura física necesarios para transformar materias primas en productos terminados que se distribuyen según las especificaciones del cliente.

2.5.2. Evaluación Ergonómica

Mediante la Evaluación Ergonómica se examina el nivel de exposición a riesgos ergonómicos en distintos puestos de trabajo. Según (Rodríguez-Gómez, Maldonado-Macías, & Naranjo Flores, 2024), el propósito de esta evaluación es identificar los factores en el entorno laboral que podrían afectar la salud y el bienestar de los empleados por problemas ergonómicos. Este análisis abarca aspectos como posturas, movimientos repetitivos, carga física, esfuerzos sostenidos y otras condiciones que podrían causar molestias musculoesqueléticas o lesiones a largo plazo en los empleados.

La evaluación ergonómica no solo cumple con la función de diagnóstico, sino que también sirve como base para ajustar y optimizar el diseño del puesto de trabajo, las herramientas utilizadas y los métodos laborales. Este enfoque contribuye a desarrollar un ambiente de trabajo más seguro y saludable, minimizando o eliminando los riesgos identificados. Además, al implementar las mejoras derivadas de la evaluación, las empresas pueden incrementar la eficiencia, reducir el ausentismo por lesiones y mejorar el rendimiento de los trabajadores, promoviendo así una cultura de prevención y bienestar en el ámbito laboral.

2.5.2.1. Instrumento

Al utilizar el término Instrumento hacemos referencia al cuestionario diseñado específicamente para evaluar el índice de gestión de la ergonomía dentro de las cadenas de suministro en las industrias minera y de sal. Este cuestionario es una herramienta clave que recopila información detallada sobre cómo se gestionan los factores ergonómicos en los procesos y operaciones. Los expertos y altos mandos son los encargados de responder el cuestionario, proporcionando una perspectiva informada y completa sobre las prácticas ergonómicas actuales en estas industrias.

El instrumento de evaluación abarca distintos aspectos de la ergonomía, incluyendo la identificación de riesgos ergonómicos, las medidas de control implementadas, los programas de capacitación en ergonomía, y el cumplimiento de normas y regulaciones ergonómicas específicas. Además, permite analizar la efectividad de las estrategias ergonómicas en reducir riesgos y mejorar el bienestar de los trabajadores en cada etapa de la cadena de suministro. Con esta información, se busca obtener una

visión integral del estado de la gestión ergonómica en estos sectores, identificar oportunidades de mejora, y apoyar el desarrollo de prácticas que promuevan la salud y seguridad en el entorno laboral.

2.5.2.2. Expertos

Cuando hablamos de expertos nos referimos a los individuos responsables de completar el instrumento de evaluación, aportando su conocimiento y experiencia en la gestión ergonómica. Estos expertos pueden incluir empleados de la empresa, académicos especializados en ergonomía, profesionales de logística, consultores externos, ergónomos y especialistas en gestión de calidad.

Cada uno de estos perfiles contribuye desde su campo de especialización, lo cual enriquece los resultados del cuestionario al integrar múltiples perspectivas. Los empleados ofrecen una visión práctica y cotidiana de los factores ergonómicos en su entorno de trabajo; los académicos proporcionan una base teórica y de investigación; los expertos en logística aportan conocimientos sobre la eficiencia en los procesos; y los consultores, ergónomos y gestores de calidad ayudan a evaluar la conformidad con normas y mejores prácticas ergonómicas. En conjunto, estos expertos permiten una evaluación completa y detallada, que es de suma importancia para mejorar la gestión ergonómica en la cadena de suministro.

2.6. Estándares y Normativas

Un estándar es conocido como un conjunto de especificaciones o lineamientos técnicos diseñados para asegurar que los productos, servicios o procesos cumplan con un nivel básico de calidad, seguridad, interoperabilidad o eficiencia. En su mayoría, los estándares son de carácter voluntario y actúan como referencia para adoptar mejores prácticas en diversas áreas y sectores.

Por otro lado, una normativa consiste en reglas de cumplimiento obligatorio que son dictadas por organismos gubernamentales o reguladores. Su propósito es salvaguardar la salud, la seguridad, el medio ambiente o los derechos de las personas. A diferencia de los estándares, las normativas poseen carácter legal, y su incumplimiento puede acarrear penalizaciones.

Ambos son esenciales porque ofrecen un marco confiable que promueve la uniformidad, protege a trabajadores y consumidores, y fomenta el comercio y la colaboración a nivel global. Además, los estándares y normativas contribuyen al progreso al establecer bases comunes y garantizar entornos seguros y eficientes.

Por último, el estudio y aplicación de estándares y normativas en distintos ámbitos permite entender su relevancia en la mejora continua, el aumento de la competitividad empresarial y la preservación del bienestar humano y ambiental.

2.6.1. ISO 45001

La ISO 45001 es la norma utilizada para la creación del cuestionario la cual define los requisitos necesarios para la creación e implementación de sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo (SST) (Organización Internacional de Normalización (ISO) 45001:2018, 2018), uno de sus propósitos principales es ofrecer a las organizaciones una estructura efectiva para asegurar y mantener ambientes laborales seguros y saludables, protegiendo a los empleados de posibles lesiones, enfermedades y accidentes derivados de su actividad laboral. Esta norma es aplicable a organizaciones de cualquier tamaño o sector y establece un marco metodológico que va desde la identificación de riesgos hasta la mejora continua de los procesos de seguridad.

En cuanto a la ergonomía (Organización Internacional de Normalización (ISO) 45001:2018, 2018), la ISO 45001 proporciona directrices específicas para evaluar los riesgos ergonómicos, establecer medidas preventivas y fomentar buenas prácticas que optimicen la interacción entre los empleados y su entorno de trabajo. La norma subraya que la gestión ergonómica debe integrarse dentro del sistema general de gestión de la seguridad y salud en el trabajo, abordando factores como la carga física, las posturas inadecuadas, los movimientos repetitivos y otras condiciones que podrían provocar problemas musculoesqueléticos o relacionados.

Un aspecto destacado de la ISO 45001 es su énfasis en la mejora continua, a través del ciclo PDCA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar), que permite a las organizaciones evaluar de manera constante la efectividad de sus medidas de seguridad y salud, incluida la ergonomía. Este enfoque no solo protege mejor la salud de los trabajadores, sino que también mejora la productividad al reducir el ausentismo debido a lesiones o enfermedades laborales.

Asimismo, la norma resalta la importancia de la participación activa de todos los niveles jerárquicos en la gestión de la seguridad, involucrando a empleados, directivos y expertos en ergonomía. Esto fomenta un enfoque colaborativo, donde todos los miembros de la organización contribuyen a identificar riesgos y a implementar soluciones ergonómicas que favorezcan un entorno de trabajo más seguro y saludable para los empleados en este caso dentro de las cadenas de suministro.

2.6.2. NORMA Oficial Mexicana NOM-035-STPS-2018, Factores de riesgo psicosocial en el trabajo-Identificación, análisis y prevención

El instrumento está vinculado a la NOM-035-STPS-2018 (Norma Oficial Mexicana NOM-035-STPS-2018:, 2018), una norma mexicana que se centra en los riesgos psicosociales en el trabajo, incluyendo su identificación, análisis y prevención. Esta normativa fue emitida por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) para fomentar ambientes laborales saludables, reducir los riesgos psicosociales y evitar efectos negativos en la salud mental de los trabajadores.

La NOM-035 establece los lineamientos que las empresas deben seguir para detectar y tratar los factores de riesgo psicosocial, como el estrés, la violencia laboral y la inseguridad en el entorno de trabajo. Esto requiere evaluaciones periódicas para identificar aquellos aspectos del ambiente laboral que puedan generar estrés o ansiedad, y aplicar medidas preventivas que favorezcan el bienestar psicológico de los empleados.

Un componente clave de la norma es la obligación de realizar estas evaluaciones, y si se identifican riesgos, tomar medidas correctivas. Además, resalta la importancia de crear una cultura organizacional que favorezca la comunicación abierta y la reducción de conflictos laborales. También se destaca la necesidad de contar con programas de apoyo para los trabajadores afectados por problemas psicosociales.

El instrumento relacionado con la NOM-035 no solo evalúa factores ergonómicos, sino también psicosociales, proporcionando una visión más completa de los riesgos laborales. Al integrar ambos aspectos, se fomenta un enfoque integral para mejorar la salud y la seguridad de los trabajadores. De esta manera, se promueve un ambiente laboral equilibrado, reduciendo tanto los riesgos físicos como los psicosociales, lo que contribuye a una mayor productividad y bienestar general.

2.6.3. NORMA Oficial Mexicana NOM-036-SSA2-2012, Prevención y control de enfermedades. Aplicación de vacunas, toxoides, faboterápicos (sueros) e inmunoglobulinas en el humano

Otra norma relevante que influye en el instrumento es la NOM-036-1-STPS-2018 (Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) NOM-036-1-STPS-2018:, 2018), que se centra en los factores de riesgo ergonómicos en el trabajo, especialmente en el manejo manual de cargas. Esta norma tiene como objetivo establecer los requisitos necesarios para prevenir riesgos relacionados con la

manipulación de cargas, buscando proteger la salud de los trabajadores y prevenir lesiones musculoesqueléticas comunes en trabajos que requieren esfuerzo físico.

La norma se enfoca en identificar, analizar y controlar los riesgos ergonómicos que surgen al manipular cargas manualmente, sin el uso de maquinaria. El manejo manual de cargas puede causar una variedad de problemas de salud, especialmente en músculos, huesos y articulaciones, como lesiones en la espalda y trastornos musculoesqueléticos.

Entre sus directrices (Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) NOM-036-1-STPS-2018;, 2018), la NOM-036-1-STPS-2018 incluye criterios claros sobre los límites de peso que los trabajadores deben manipular, las mejores prácticas para evitar posturas forzadas y medidas preventivas para reducir los riesgos ergonómicos. También establece pautas para programas de capacitación en técnicas de levantamiento adecuado, rotación de tareas y uso de equipos mecánicos para apoyar estas labores.

Uno de los aspectos clave de esta norma es su enfoque preventivo, que no solo establece los riesgos a evitar, sino también medidas correctivas y preventivas para crear un entorno laboral seguro. Esto incluye el rediseño de los puestos de trabajo, la mejora en la disposición de las cargas, el uso de equipos adecuados y una correcta organización de los flujos de trabajo.

El instrumento en este contexto sigue las pautas de la NOM-036-1-STPS-2018 al evaluar las condiciones relacionadas con el manejo manual de cargas, asegurando el cumplimiento de los estándares establecidos y aplicando estrategias para reducir los riesgos ergonómicos. Esto ayuda a identificar factores de riesgo temprano, optimizando la salud y seguridad de los trabajadores, y mejorando la eficiencia en las operaciones laborales.

2.7. Metodología de diseño axiomático

El término "método" proviene del griego, donde meta significa "junto a" y hodos se traduce como "camino", lo que en conjunto puede entenderse como "seguir un camino hacia un objetivo" (Maldonado Macías, Balderrama Armendáriz, Jorge , & García Alcaraz, 2019). En su sentido más amplio, un método representa la forma más adecuada para alcanzar una meta. Aunque suele concebirse como un proceso conceptual y abstracto, su utilidad real surge cuando se expresa mediante un lenguaje claro y se aplica prácticamente para transformar la realidad.

La metodología, en cambio, hace referencia al estudio crítico y sistemático del método. Mientras el método es la secuencia organizada de pasos que se siguen para generar nuevo conocimiento, la metodología es el conocimiento reflexivo sobre esos pasos y su aplicación adecuada.

En el ámbito del diseño, el método se construye a partir de estructuras lógicas que han probado ser efectivas. Al combinarse con habilidades creativas, estas estructuras permiten dirigir el diseño hacia objetivos concretos. De acuerdo con distintos teóricos, este proceso metodológico en diseño puede organizarse en cuatro etapas esenciales: recolección de información e investigación, análisis, síntesis y evaluación, las cuales orientan la toma de decisiones de forma sistemática y racional dentro del marco del diseño axiomático.

Rango de Diseño (RD)

Cuando hablamos del rango de diseño nos referimos a la tolerancia relacionada con el parámetro de diseño (PD) que el diseñador especifica. En resumen, es lo que el diseñador pretende lograr en términos de tolerancias o límites de especificación para el cálculo de la gestión de la ergonomía ya sea por ítem o por sección el cual es definido por expertos (Suh, 1998).

Rango del Sistema (RS)

El rango de sistema representa lo que puede realmente ofrecer, es decir, lo que el sistema diseñado es capaz de realizar, el cual es definido por los mandos medios y superiores de la empresa (Suh, 1998).

Rango Común (RC)

Cuando hablamos de rango común nos referimos a la parte en la que se superponen el rango de diseño (RD) y el rango del sistema (RS). En otras palabras, es la zona donde lo que el diseñador desea (RD) y lo que el sistema puede proporcionar (RS) se solapan (Suh, 1998).

Parámetros de Diseño (PD)

Los parámetros de diseño representan las variables físicas que son clave dentro de un dominio físico que es caracterizado por el diseño que satisface los requerimientos funcionales específicos que fueron establecidos.

2.8. Desarrollo del Índice de Gestión de Ergonomía para la Sostenibilidad de la CS

En esta sección se muestra cómo se calcula el índice de gestión de la ergonomía para la cadena de suministro por cada requerimiento funcional (Suh, 1998).

La Gestión de Ergonomía (GE) es un concepto que sigue desarrollándose y que también implica un proceso aplicado en las empresas dentro de las Cadenas de Suministro (CS). Estas organizaciones buscan analizar la GE de forma integral y completa. En este sentido, las prácticas de colaboración (PrC) son esenciales para aumentar la eficiencia, mejorar la productividad y reducir riesgos ergonómicos.

Como se mencionó en la sección 1.2, este trabajo está apoyando la tesis doctoral (Rodríguez-Gámez, Maldonado-Macías, & Naranjo Flores, 2024), en la cual el propósito de esta fue identificar cuáles son las PrC más efectivas en la CS para gestionar la ergonomía. Para lograrlo, se revisó literatura relevante, se creó un cuestionario digital con preguntas tipo Likert sobre PrC, y se recopilaron respuestas de un grupo de expertos de Latinoamérica. Luego, se realizó un análisis descriptivo de los datos obtenidos.

El cuestionario se estructuró en dos categorías (proveedores y clientes). Tras analizar las respuestas, se identificaron como mejores prácticas la participación de la gerencia, la planificación conjunta, y el intercambio de experiencias sobre riesgos, medidas preventivas y controles entre las empresas. Estas acciones permiten evaluar la GE mediante el flujo de información y la creación de conocimiento en ergonomía, lo que contribuye a mejorar el bienestar de los trabajadores y el rendimiento organizacional.

IGE por eslabón de la CS

IGEproveedor=IGEPlaneación+IGEhacer+IGEVERificar+IGEActuar+IGELiderazgyparticipación+ IGERelacionesinterorganizacionales+IGESostenibilidadsocial

IGEproductor=IGEPlaneación+IGEhacer+IGEVERificar+IGEActuar+IGELiderazgoy participación+ IGERelacionesinterorganizacionales+IGESostenibilidadsocial

IGEccliente=IGEPlaneación+IGEhacer+IGEVERificar+IGEActuar+IGELiderazgoy participación+ IGERelacionesinterorganizacionales+IGESostenibilidadsocial

IGE global de la CS

IGECS = IGE proveedor + IGE productor + IGE cliente

IGE por constructo para cada eslabón de la CS

IGEplanear = $IGER_{Fi1} + \dots + IGER_{Fi10}$

IGEHacer = $IGER_{Fi1} + \dots + IGER_{Fi12}$

IGEverificar = $IGER_{Fi1} + \dots + IGER_{Fi14}$

IGEactuar = $IGER_{Fi1} + \dots + IGER_{Fi14}$

IGEcoboración = $IGER_{Fi1} + \dots + IGER_{Fi10}$

IGEcooperación = $IGER_{Fi1} + \dots + IGER_{Fi8}$

IGEcoordinación = $IGER_{Fi1} + \dots + IGER_{Fi18}$

IGEsostenibilidadsocial = $IGER_{Fi1} + \dots + IGER_{Fi9}$

IGE liderazgo y participación = $IGER_{Fi1} + \dots + IGER_{Fi13}$

IGE por requerimiento funcional

$$IGERF = \log_2 (RS/RC)$$

Donde:

IGERF = Índice de gestión de ergonomía para cada requerimiento funcional (ítems del instrumento)

RS =Rango del sistema (% de cumplimiento de la práctica de la gestión de ergonomía)

RC=Rango común (traslape entre el RD y RS)

Ejemplo de cálculo para el índice de gestión de la ergonomía para la cadena de suministro del constructo planeación.

Rango común del RF1: % de cumplimiento del ítem 1 del constructo de Planeación (PPL1)

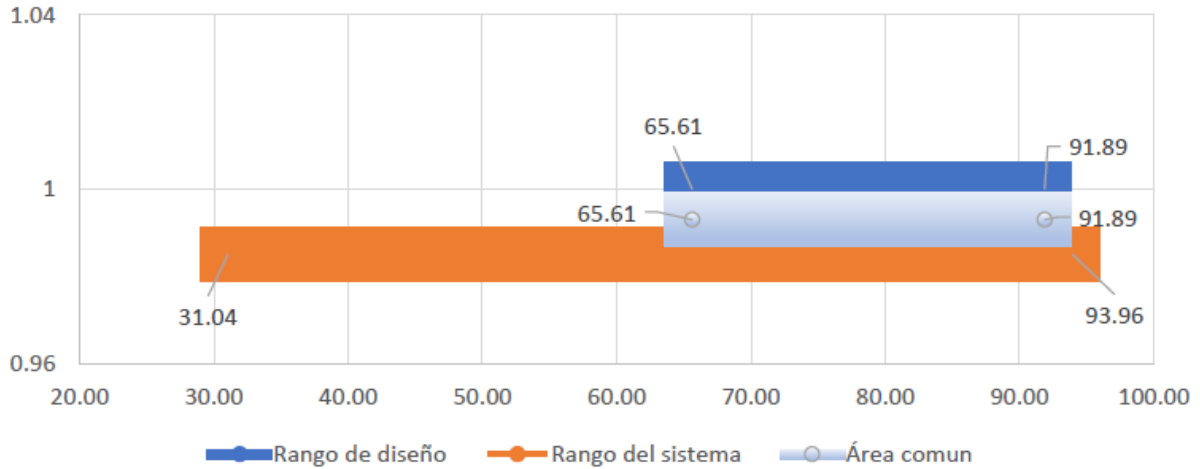


Figura 2.2 Representación gráfica de los rangos de diseño, sistema y el área en común. Fuente: (Rodríguez-Gómez, Maldonado-Macías, & Naranjo Flores, 2024).

Resultados del cálculo del rango en común.

$$RC = 91.89 - 65.61 \quad RC = 26.27$$

Tabla de resultados de los cálculos del rango en común del constructo planear para una serie de preguntas.

RFPlanear	RC
PPL1	26.27
PPL1	17.61
PPL1	19.35
PPL1	27.74
PPL1	35.50
PPL1	17.66
PPL1	9.08

Tabla 2.1 Resultados de RC. Fuente: Elaboración propia.

Cálculo del Índice de Gestión de la Ergonomía por Requerimiento Funcional del Constructo de Planeación Ejemplo del Ítem 1.

$$IGERF_{ppL1} = \log_2 \left(\frac{RS}{RC} \right)$$

$$IGERF_{ppL1} = \log_2 \left(\frac{93.96 - 31.04}{26.27} \right)$$

$$IGERF_{ppL1} = \log_2\left(\frac{62.92}{26.27}\right)$$

$$IGERF_{ppL1} = \log_2(2.39)$$

$$IGERF_{ppL1} = 0.378$$

$$\frac{0.378}{0.3010} = 1.26$$

2.8.1. IGE Constructo

El índice de gestión de la ergonomía por constructo es un enfoque de evaluación que segmenta el análisis de la gestión ergonómica en diferentes categorías clave, que son esenciales para el éxito de las prácticas ergonómicas dentro de una organización (Rodríguez-Gómez, Maldonado-Macías, & Naranjo Flores, 2024), el instrumento utilizado en esta evaluación está compuesto por nueve constructos principales: planear, hacer, verificar, actuar, liderazgo y participación de los trabajadores, colaboración, cooperación, coordinación, y gestión de la ergonomía.

Cada constructo representa un área específica que influye en la implementación y éxito de un sistema de gestión ergonómica. A través de estos constructos, se evalúan diferentes aspectos de la gestión ergonómica, desde la planificación hasta la ejecución y el seguimiento, incluyendo la participación activa de los empleados en la mejora del entorno laboral.

El cálculo del índice de gestión se realiza tomando en cuenta cada constructo de manera independiente, lo que permite evaluar cada categoría de forma separada. Cada constructo tiene un conjunto de criterios específicos que deben cumplirse para lograr un puntaje alto. Esto permite identificar tanto las fortalezas como las áreas de mejora dentro de cada categoría.

Este enfoque segmentado proporciona una visión más detallada de la gestión ergonómica, permitiendo a las organizaciones identificar no solo los problemas generales, sino también áreas específicas que requieren atención. Además, facilita una gestión más precisa de los factores que afectan la ergonomía y permite tomar decisiones informadas para mejorar el sistema de ergonomía en cada aspecto de forma coordinada.

2.8.2. IGE Elemento

El índice de gestión de la ergonomía por elemento es un enfoque de evaluación que examina aspectos específicos de la gestión ergonómica (Rodríguez-Gómez, Maldonado-Macías, & Naranjo Flores, 2024), enfocándose en actores clave, como el proveedor, la empresa y el cliente. Este índice se calcula

tomando en cuenta cómo cada uno de estos elementos contribuye a la implementación y seguimiento de las prácticas ergonómicas en sus respectivas áreas de influencia.

Este enfoque proporciona una visión detallada de las responsabilidades de cada parte involucrada, ayudando a identificar áreas específicas de mejora y optimización en la gestión de la ergonomía por cada uno de los participantes.

2.8.3. IGE Requerimiento Funcional

El índice de gestión de la ergonomía según los requerimientos funcionales mide cómo se gestionan los aspectos ergonómicos en el entorno de trabajo en relación con los diferentes requisitos establecidos para cada puesto (Rodríguez-Gámez, Maldonado-Macías, & Naranjo Flores, 2024), este índice se calcula para cada uno de los ítems identificados, que corresponden a preguntas específicas en el cuestionario de evaluación ergonómica.

Cada pregunta del cuestionario examina un factor ergonómico particular. Al evaluar estos aspectos, se analiza cómo se gestionan en el entorno laboral y el impacto que tienen en la salud y bienestar de los empleados.

El índice se calcula asignando un valor a cada respuesta, reflejando el cumplimiento de las mejores prácticas ergonómicas para cada aspecto específico. Estos valores se combinan para obtener un puntaje que indica el nivel de gestión ergonómica para cada requerimiento funcional.

Este enfoque permite identificar áreas que requieren mejoras y aquellas que ya implementan buenas prácticas. Además, el IGE puede ser útil para comparar el desempeño ergonómico entre diferentes áreas de las empresas, y facilita la toma de decisiones sobre acciones correctivas cuando los puntajes son bajos, lo que señala deficiencias en la gestión ergonómica.

Finalmente, este proceso de evaluación no solo permite detectar áreas de mejora, sino que también proporciona un mecanismo para realizar un seguimiento continuo del desempeño ergonómico, favoreciendo la mejora constante en las condiciones laborales y reduciendo los riesgos ergonómicos.

III. Desarrollo del Proyecto

Para el desarrollo del proyecto se utilizó la metodología *KMos-SSA* la cual es una evolución de *KMos-RE*, que brinda una estructura robusta para la conceptualización y especificación de soluciones en entornos complejos. Esta metodología permite una integración eficiente del software y los requisitos del sistema, garantizando que el análisis del dominio se realice de manera sistemática y coherente con las necesidades del entorno de trabajo. Al utilizar la metodología, facilitó la aplicación de una herramienta interactiva que se adaptara a las necesidades emergentes del proceso de evaluación, permitiendo iteraciones rápidas y mejorando la precisión de los resultados obtenidos. Con este enfoque, se aseguró que la solución fuera efectiva, adaptable y alineada con los objetivos del especialista del dominio.

3.1 Metodología KMOS-SSA

La metodología *KMoS-SSA* nos permite recopilar conocimiento especializado en el dominio a través de un proceso de enriquecimiento de conocimiento continuo. Este enfoque incluye a todos los participantes clave, como expertos del área, responsables de decisiones y proveedores de soluciones (Olmos-Sánchez K. , Rodas-Osollo, Maldonado-Macías, & Jiménez-Galina, 2024). Al construir modelos que integran múltiples perspectivas, *KMoS-SSA* facilita una reflexión constante entre todos los involucrados. El proceso se centra en la recolección, validación, discusión y el intercambio de conocimientos, buscando no solo crear soluciones eficientes, sino también satisfactorias y alineadas con las expectativas de los actores.

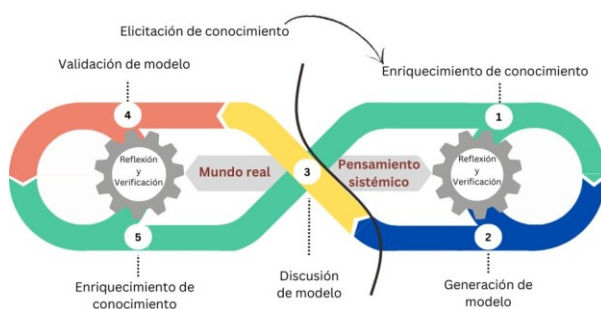


Figura 3.1 Ciclo Continuo de enriquecimiento del conocimiento traducido de: (Olmos-Sánchez K. , Rodas-Osollo, Maldonado-Macías, & Jiménez-Galina, 2024).

La gestión del conocimiento (GC) dentro del proceso *KMoS-SSA* está orientada a identificar piezas de conocimiento, crear modelos de Dominios de Estructura Informal (DEI) y establecer requisitos de conocimiento. Este proceso considera las interconexiones y la naturaleza dinámica propia de los

Dominios Complejos de Estructura Informal (DCEI). La metodología *KMoS-SSA* ofrece un marco estratégico para gestionar de forma integral el conocimiento en estos contextos, abordando cada componente del proceso *KMoS-RE* como una unidad cohesiva y estructurada (Olmos-Sánchez K. , Rodas-Osollo, Maldonado-Macías, & Jiménez-Galina, 2024).

1. **Definir y Establecer el Alcance de los DCEI:** Consiste en delinear e identificar los Dominios Complejos de Estructura Informal (DCEI) que serán estudiados, estableciendo los límites y contexto del sistema, además de considerar las relaciones entre diferentes dominios.

2. **Identificación de Actores Clave en el DCEI:** Este paso se enfoca en identificar y clasificar a los actores principales involucrados, analizando sus roles y perspectivas dentro del sistema.

3. **Análisis de Problemas y Necesidades:** Implica realizar un análisis detallado de los problemas y necesidades dentro del contexto, recopilando información y conocimientos mediante entrevistas, encuestas y análisis de documentos, con el fin de entender los desafíos existentes.

4. **Reconocer Interconexiones en el Sistema:** Aquí se estudian las conexiones entre distintos elementos del sistema, evaluando cómo los cambios en una parte pueden impactar en otras áreas.

5. **Establecimiento de Requisitos:** Se utilizan métodos como entrevistas, talleres y cuestionarios para obtener los requisitos necesarios de los tomadores de decisiones y actores clave, promoviendo su participación para alinear sus expectativas y necesidades.

6. **Análisis de Contingencia y Escenarios:** Este paso consiste en explorar escenarios y situaciones posibles, identificando requisitos que puedan cubrir diversas contingencias y variaciones en el comportamiento del dominio.

7. **Modelado del DCEI Mediante Conocimiento de Dominio:** Se emplean herramientas de modelado visual (diagramas, descripciones documentadas, diagramas de flujo, entre otros) para representar piezas de conocimiento y requisitos, facilitando la comunicación y comprensión entre los actores involucrados.

8. **Documentación de Piezas de Conocimiento e Impacto en el DCEI:** Aquí se elabora documentación exhaustiva que detalla todas las piezas de conocimiento, sus prioridades y limitaciones, aportando claridad a todos los actores del DCEI.

9. **Gestión del Cambio:** Este paso establece un proceso de gestión de cambios en los requisitos a medida que evolucionan. Reconoce la complejidad del DCEI y enfatiza la necesidad de adaptabilidad y colaboración continua con los responsables de la toma de decisiones en entornos dinámicos y cambiantes.

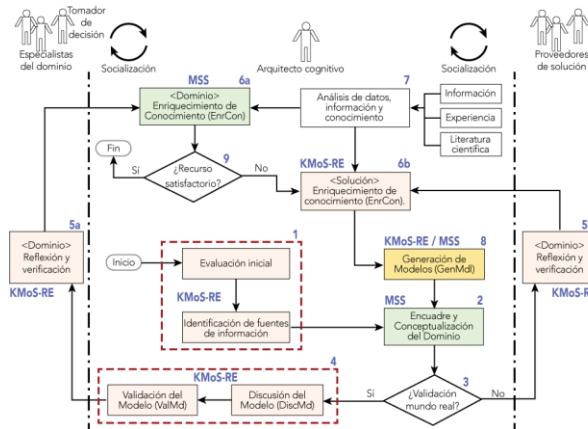


Figura 3.2 Representa el marco KMoS-SSA, ilustrando las etapas y tareas esenciales para lograr la gestión del conocimiento. Las cajas rectangulares simbolizan las etapas y sus tareas asociadas, mientras que los diamantes representan decisiones. Los puntos "Inicio" y "Fin" se designan con elipses. En la parte superior, las figuras humanas simbolizan los actores principales dentro de una CISD y sus interrelaciones. Fuente: (Olmos-Sánchez K. , Rodas-Osollo, Maldonado-Macías, & Jiménez-Galina, 2024).

3.2. Proyecto

En este apartado se presenta la aplicación paso a paso de las metodologías destinadas a elicitación del conocimiento sobre el dominio de la ergonomía en las cadenas de suministro de la industria minera. El objetivo principal es analizar el índice de gestión de la ergonomía, utilizando herramientas que permitan comprender mejor las condiciones laborales en este entorno específico.

El proyecto propone metodologías efectivas para analizar y gestionar dicho índice, apoyándose en recursos como los grafos de conocimiento, los cuales permiten interpretar y estructurar los datos recopilados dentro de la organización.

El análisis se centra particularmente en cadenas de suministro relacionadas con sectores minero y de la sal, donde las condiciones ergonómicas suelen estar poco atendidas. Para ello, se utiliza un cuestionario fundamentado en normas reconocidas como ISO 45001, NOM-035 y NOM-036, que permiten evaluar tanto los factores ergonómicos como las condiciones de trabajo en general.

Dada la complejidad del tema, se adoptó el marco metodológico KMoS-SSA en conjunto con la metodología de sistemas blandos, desarrollando de forma iterativa los siguientes modelos y

artefactos: Léxico Extendido del Lenguaje, Visión Enriquecida, enfoques PQR y CATWOE, Modelo Conceptual y Modelo de Metas Estratégicas. Estos elementos permitieron alcanzar un entendimiento más completo del dominio y analizar aspectos clave de la ergonomía, facilitando así la propuesta de soluciones efectivas.

3.3. LEL (Léxico Extendido de lenguaje)

De acuerdo con (Hadad & Doorn, 2009), el Léxico Extendido del Lenguaje (LEL) es un modelo diseñado para mejorar la comprensión y representación del lenguaje en diversos dominios. Al implementarlo en el ámbito del Índice de Gestión de la Ergonomía (IGE) en las Cadenas de Suministro (CS), nuestro objetivo es optimizar la comprensión de la Unidad de Desarrollo (UdeD) dentro de este contexto específico. Este metamodelo destaca que una descripción precisa de los términos del lenguaje juega un papel fundamental en una mejor interpretación de la UdeD. Para desarrollar el LEL, se identificaron y registraron términos clave o relevantes del dominio, asignándoles nombres y definiciones que abarcan tanto su denotación (Noción) como su connotación (Impacto). Este enfoque permite organizar y estructurar de manera eficiente el lenguaje utilizado en el campo del IGE en las CS, facilitando su entendimiento y aplicación en el marco de nuestra investigación.

Se identificaron alrededor de 30 conceptos importantes, la siguiente tabla numero 2 muestra los conceptos más importantes para el cálculo del índice de gestión de la ergonomía de igual manera en los anexos se encuentra el LEL completo del dominio.

Nombre	Sinónimo	Acrónimo
Índice de Gestión de la ergonomía	Cálculo de la gestión ergonómica	IGE
Cadena de suministro	Cadena logística, cadena de aprovisionamiento, red de suministro.	CS
Ergonomía	Confortabilidad, adaptación humana	ERGO
evaluación ergonómica	Análisis ergonómico, revisión de ergonomía, evaluación del diseño centrado en el usuario	EErgo
evaluación de cadena de suministros	Análisis de la cadena de suministro, revisión logística, evaluación de la red de suministro	ECS
Gestión de Ergonomía	Administración centrada en el usuario, dirección del diseño ergonómico	GE
Sostenibilidad Social	Sostenibilidad comunitaria, responsabilidad social, equidad social y ambiental	SS
factores críticos de riesgo	Elementos clave de riesgo, aspectos críticos de la vulnerabilidad, factores determinantes de riesgo	FCR
ISO 45001:2018		ISO 45001
NOM-035-STPS-2018		
NOM-036-SSA2-2012		
Rango del sistema	Alcance del sistema, límites del sistema, dominio del sistema	RS
Rango de diseño	Ámbito de diseño, alcance de diseño, límites de diseño	RD
área común	espacio común, zona común	AR, RC

Tabla 3.1 Conceptos importantes para el cálculo del IGE. Fuente: Elaboración propia.

3.4. Modelo Conceptual

Como se señala en (WILSON , 2001), durante la fase de comprensión de la situación, se desarrolla un componente esencial para nuestro campo: el Modelo Conceptual (MC). Este MC es una representación gráfica que resume las actividades clave necesarias para la representación del índice de gestión de la ergonomía en las Cadenas de Suministro (CS) de la industria minera y de sal. Funciona como un mapa detallado que muestra cómo se interrelacionan las distintas actividades, como la evaluación del instrumento para el IGE.

Con una estructura bien definida y ordenada, el MC facilita una comprensión más profunda de cómo se lleva a cabo la evaluación del índice de gestión de la ergonomía en las CS. Además de ser una herramienta visual, el MC desempeña un rol importante en la comunicación y la planificación estratégica del proyecto, ya que fomenta la discusión y la alineación entre los diversos miembros del equipo, incluidos los especialistas del dominio.

A continuación, se presenta una parte del modelo conceptual donde podemos observar que para el cálculo del índice de gestión de la ergonomía se puede obtener de diferentes formas algunas de ellas son por requerimiento funcional esto quiere decir por cada ítem(pregunta), por constructo el cual es por cada una de las partes que componen el instrumento como el planear, hacer, verificar..., por

eslabón que es la empresa, proveedor y cliente y por último el IGE Global que son los tres anteriores en conjunto.

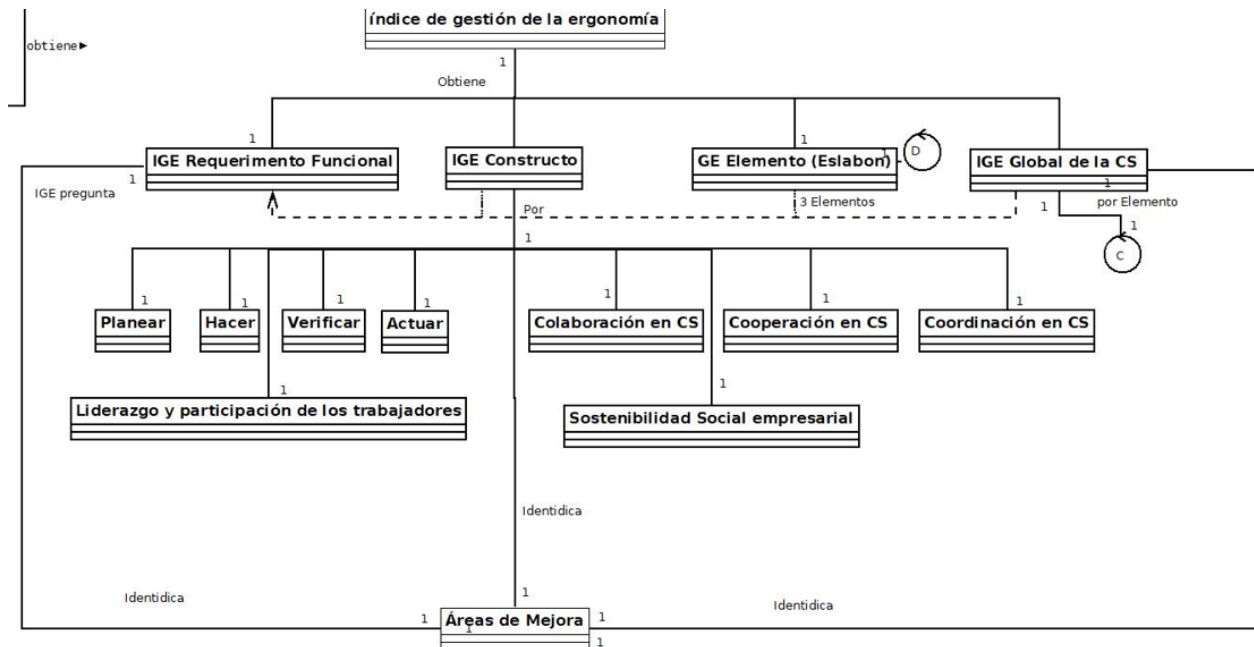


Figura 3.3 Representación del MC del IGE Fuente: Elaboración propia.

3.5. Modelo de Metas Estratégicas

El Modelo de Metas Estratégicas se implementa con el propósito de obtener una comprensión más profunda de la situación actual y de las expectativas de las partes interesadas en relación con la gestión ergonómica en las cadenas de suministro. A través de este enfoque, se identifica un interés común en la mejora del Índice de Gestión de la Ergonomía (IGE), enfatizando la necesidad de una evaluación detallada de la gestión ergonómica (GE) dentro de las cadenas productivas.

Durante el análisis, se reconoce la participación de múltiples factores clave, cada uno con objetivos específicos respecto a la evaluación del IGE:

Líderes de la cadena de suministro (Departamento de Seguridad): consideran que la evaluación del IGE es una herramienta viable para reducir la prima de riesgo y garantizar un ambiente laboral más seguro.

Sindicatos: buscan mejorar la calidad de vida de los trabajadores, promoviendo condiciones laborales más seguras y saludables a través de la evaluación ergonómica en la cadena de suministro.

Recursos Humanos: tiene como prioridad la reducción de accidentes y enfermedades laborales, apostando por una gestión ergonómica más eficiente que minimice riesgos y fomente el bienestar de los empleados.

Este modelo permite estructurar de manera clara los intereses y prioridades de cada actor dentro del sistema, facilitando la toma de decisiones estratégicas y el diseño de intervenciones ergonómicas efectivas que contribuyan tanto a la seguridad y bienestar de los trabajadores como a la eficiencia operativa de las empresas.

La siguiente figura representa el Modelo de Metas Estratégicas, el cual ha sido revisado y validado por especialistas del dominio con el propósito de garantizar su precisión y aplicabilidad en el contexto de la gestión ergonómica en las cadenas de suministro.

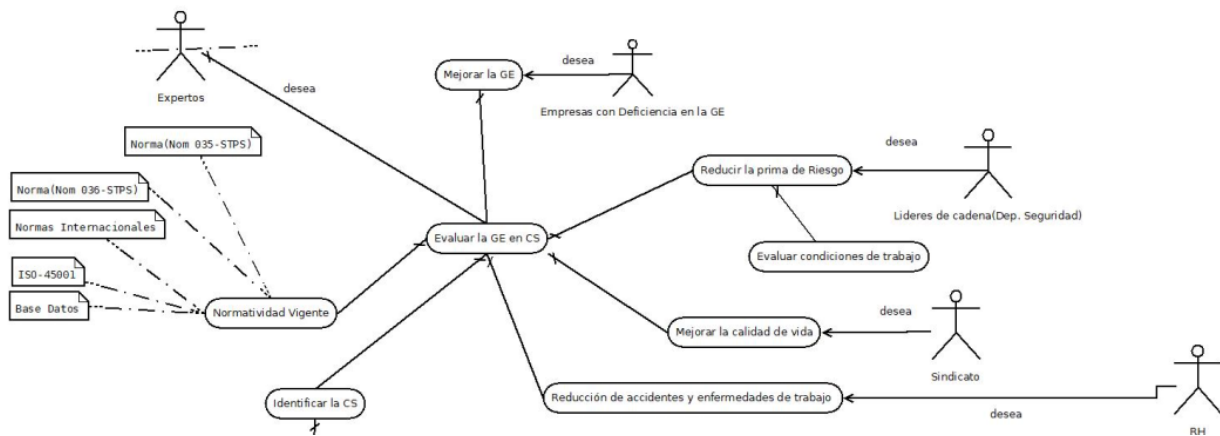


Figura 3.4 Modelo de Metas Estratégicas revisado por los especialistas del dominio. Fuente: Elaboración propia.

Para llevar a cabo la evaluación del índice de gestión ergonómica, es esencial centrarse en normativas vigentes, como la Norma NOM-035-STPS, que, según menciona (Norma Oficial Mexicana NOM-035-STPS-2018:, 2018), se enfoca en el estudio de los factores de riesgo psicosociales presentes en el entorno laboral, con el fin de analizarlos, identificarlos y prevenir su impacto en los trabajadores. Asimismo, se hace referencia a la Norma NOM-036-STPS, que, como se indica en (Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) NOM-036-1-STPS-2018:, 2018), aborda los factores y riesgos ergonómicos en el trabajo, orientándose a la identificación, prevención, control y análisis de los riesgos relacionados con el manejo manual de cargas.

Además, se ha considerado que el instrumento utilizado también se fundamenta en la norma ISO 45001, la cual, según (Organización Internacional de Normalización (ISO) 45001:2018, 2018), está centrada en la gestión de la seguridad y la salud en el trabajo. Esta norma es importante para las empresas, especialmente aquellas que operan en entornos donde la salud y seguridad ocupacional son prioritarias, proporcionando un marco integral para mejorar las condiciones laborales.

3.6. PQR (Problema, Causas, Remedio)

Como señala (Salavati & Mirijamdotter, 2017), el enfoque PQR (Problema, Causas, Remedio) es una estrategia metodológica utilizada para identificar y abordar problemas complejos, mediante una comprensión exhaustiva del área de estudio, la identificación de las causas subyacentes y la propuesta de soluciones efectivas. Este enfoque ha sido ampliamente adoptado en diversos campos, desde la administración empresarial hasta la ingeniería y la mediación de conflictos.

El modelo PQR se basa en tres etapas esenciales que permiten abordar los problemas de forma ordenada y eficiente:

Problema (P): El primer paso es definir con claridad cuál es el problema por resolver. Este es un componente clave, ya que una definición precisa del problema sirve como base para todo el proceso de solución. Aquí, el objetivo no es solo identificar los síntomas, sino entender el problema en su totalidad, considerando todos los factores contextuales que puedan influir en su origen.

Causas (Q): Una vez que se ha identificado el problema, el siguiente paso es analizar las causas que lo generan. Este análisis detallado permite descubrir los factores que contribuyen al problema. Se pueden utilizar herramientas como diagramas de causa y efecto, para profundizar en las causas. Este paso es importante para asegurarse de que las soluciones aborden las raíces del problema y no solo los efectos superficiales.

Remedio (R): Finalmente, el enfoque PQR sugiere soluciones específicas para resolver el problema. En esta fase, se deben diseñar estrategias y acciones basadas en el análisis previo, asegurándose de que las soluciones sean prácticas, medibles y alcanzables. Además, estas deben estar alineadas con los recursos disponibles y las condiciones del entorno.

El uso del enfoque PQR facilita una comprensión más profunda y detallada de los problemas, lo que no solo permite una resolución más eficaz, sino también mejora continua de los procesos. Esta metodología promueve una visión integral, donde cada paso está relacionado con el siguiente, ofreciendo una estructura clara para la acción.

A continuación, se presenta la Tabla PQR, diseñada para atender las necesidades específicas en el análisis del Índice de Gestión de la Ergonomía dentro de la cadena de suministro de la industria minera.

Esta tabla cumple un papel fundamental en la evaluación de los factores que influyen en las diferentes etapas del proyecto identificando que las empresas (el especialista del dominio), su principal preocupación es la gestión de la ergonomía en las cadenas de suministro. Además, el análisis basado

en esta tabla facilita la toma de decisiones informadas, proporcionando una base sólida para la implementación de medidas que contribuyan a la mejora continua de la gestión ergonómica en la industria.

PQR	
Realiza P	Evaluación del IGE en las CS de la industria minera superficial mexicana.
Por medio de Q	Ayudar con recomendaciones para la gestión de la ergonomía en las cadenas de suministro.
Para alcanzar R	Mejorar la gestión de la ergonomía en la cadena de suministro para las empresas.

Tabla 3.2 PQR. Fuente: Elaboración propia.

En el análisis del Índice de Gestión de la Ergonomía (IGE) en las cadenas de suministro (CS) de la industria minera superficial en México, se emplea el enfoque PQR para estructurar el estudio de manera clara y efectiva. Mediante este enfoque, se define el problema (P) como la evaluación del IGE en las CS del sector minero. A partir del cuestionamiento (Q), se generan recomendaciones prácticas y específicas para optimizar la gestión ergonómica en estas cadenas. Finalmente, el resultado esperado (R) es fortalecer la gestión de la ergonomía en las empresas mineras, lo que contribuirá a mejorar la calidad de vida de los trabajadores y a incrementar la eficiencia operativa.

3.7. CATWOE

El análisis CATWOE de este proyecto se detalla de la siguiente manera: las empresas interesadas en evaluar el Índice de Gestión de la Ergonomía en su cadena de suministro representan a los clientes. Los actores involucrados incluyen expertos en la materia, así como mandos medios y superiores, tales como directores, gerentes y supervisores.

La transformación deseada consiste en optimizar el índice de gestión ergonómica con el objetivo de mejorar tanto la salud ocupacional como la eficiencia operativa en el sector minero y de sal. Desde la visión del mundo, se considera que la aplicación adecuada de estrategias ergonómicas en la cadena de suministro de la industria minera superficial en México contribuirá significativamente a la seguridad y bienestar de los trabajadores, al tiempo que potenciará la productividad.

Los propietarios de esta iniciativa han sido identificados, y entre las restricciones establecidas se encuentra la participación mínima de dos personas por cada eslabón de la cadena de suministro.

No.	CATWOE	Descripción
1	Clientes	Empresas que decidan evaluar el índice de gestión de la cadena de suministro.
2	Actores	Expertos: Empleados, académicos, logística, consultores, ergónomos, gestión de calidad y seguridad. Mandos medios y superiores: director Compañía, Gerentes, Supervisores.
3	Proceso de transformación	Gestión de la ergonomía en la cadena de Suministro.
4	Visión del mundo	implementar grafos de conocimiento para el análisis del instrumento contestado por los expertos y altos mandos de las empresas.
5	Dueños	Mtro. Iván Francisco Rodríguez, Dra. Aidé Maldonado
6	Ambiente	Disponibilidad y Calidad de los Datos Externos, desarrollo de Grafos de Conocimiento, Normas 035 y 036.

Tabla 3.3 CATWOE del Sistema fuente: elaboración propia.

3.8. Ontología

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la ontología creada, la cual constituye uno de los productos más relevantes de este trabajo. Esta ontología representa los principales conceptos, relaciones y atributos relacionados con el índice de gestión de la ergonomía, permitiendo una mejor comprensión y análisis del dominio.

La Ilustración 7 muestra la representación gráfica de la ontología desarrollada, la cual resume el conocimiento estructurado derivado del proceso de elicitación. En esta figura se puede observar la forma en que se conectan los distintos elementos del sistema, así como la manera en que se relacionan cada uno de ellos, los procesos de evaluación y las prácticas organizacionales involucradas en la gestión de la ergonomía.

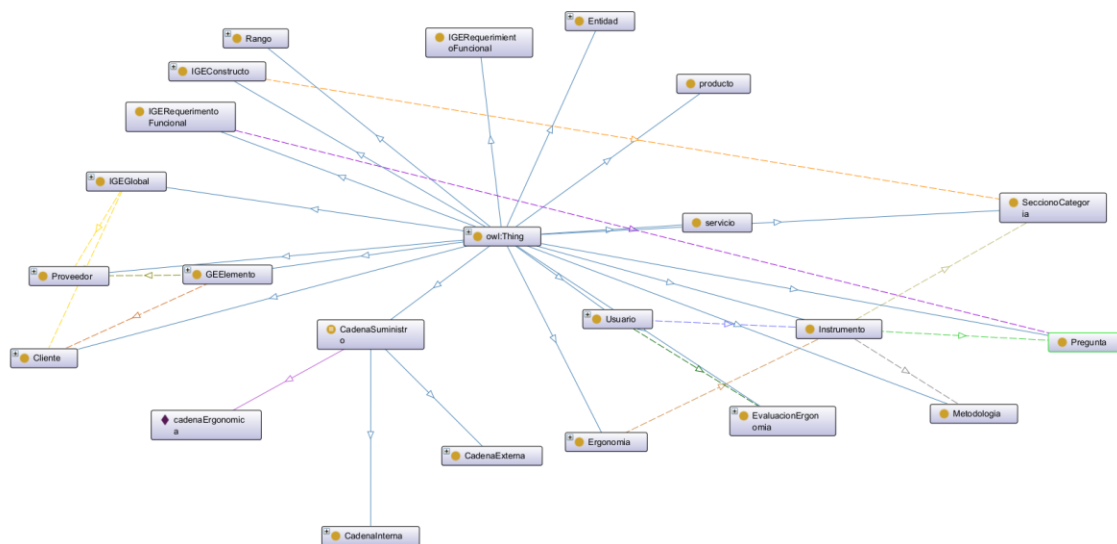


Figura 3.5 Representación de la ontología sobre el índice de gestión de la ergonomía. Fuente: Elaboración propia.

3.9. Base de Datos Relacional

La siguiente imagen muestra los conceptos importantes para el desarrollo de la ontología del Índice de Gestión de la Ergonomía que se extrajeron de la base de datos relacional en la cual se encuentran almacenados los datos que se pretende analizar. Este proceso permitió identificar y estructurar las entidades y relaciones clave que componen el sistema de gestión ergonomía. A partir de esta información, se generaron tripletas RDF que representan las interacciones y propiedades esenciales de las diferentes entidades involucradas, asegurando una representación semántica precisa y coherente.

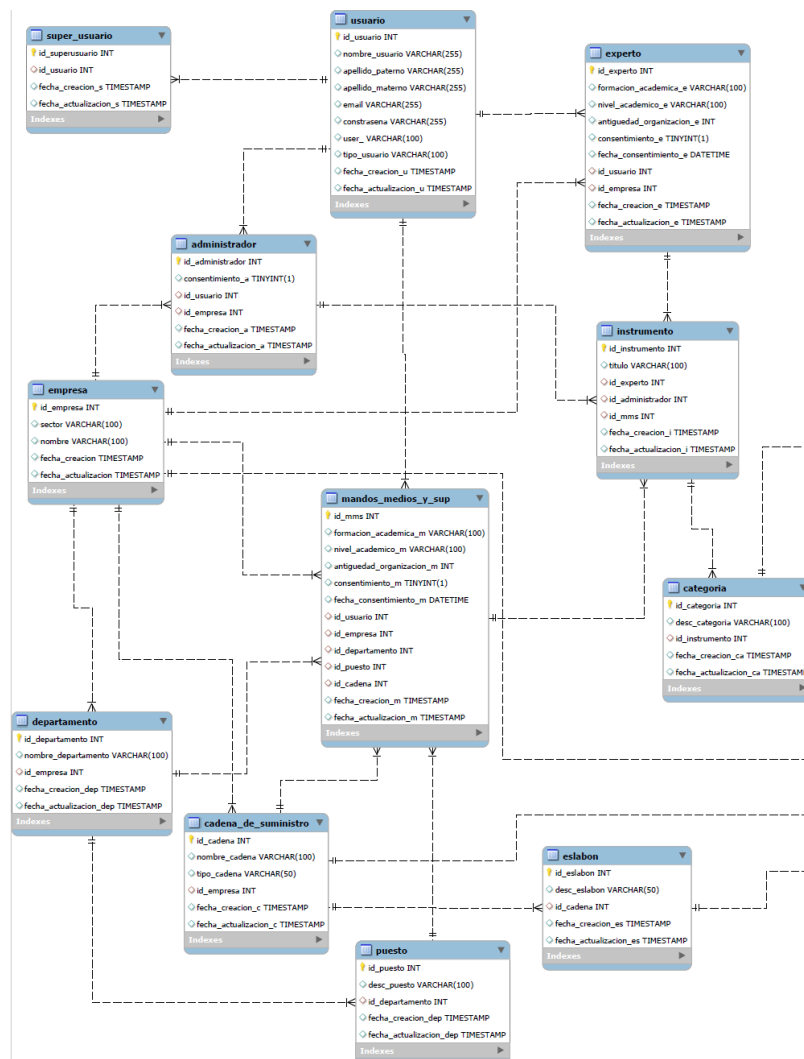


Figura 3.6 Representación de la base de datos relacional del índice de gestión de la ergonomía. Fuente: Elaboración propia.

3.10. Protégé

Las ontologías pueden desarrollarse con distintas herramientas, las cuales varían en función del lenguaje que emplean. Algunos programas utilizan su propio lenguaje de definición, mientras que otros trabajan con estándares como OWL (Web Ontology Language), que será el que aplicaremos en la creación de nuestra ontología enfocada en la gestión de la ergonomía.

Entre las plataformas más destacadas para la construcción de ontologías se encuentra Protégé, una herramienta ampliamente utilizada por su versatilidad y funcionalidad. Este software de código abierto, desarrollado por la Universidad de Stanford, permite diseñar, modificar y validar ontologías a través de una interfaz gráfica intuitiva, facilitando su uso tanto para expertos como para quienes están iniciando en el área.

Protégé es compatible con OWL, lo que posibilita la estructuración de clases, propiedades y relaciones de manera eficiente, los cuales permiten verificar la coherencia del modelo y extraer inferencias basadas en las reglas establecidas dentro de la ontología.

Para nuestro caso específico, la ontología se ha diseñado a partir de un modelo conceptual previamente definido, asegurando que su estructura refleje con precisión las entidades y relaciones clave para el índice de gestión de la ergonómica en las cadenas de suministro. La representación visual se representa más adelante donde se muestra su organización jerárquica y la definición de las clases y propiedades dentro de Protégé.

Además de simplificar el desarrollo y mantenimiento de ontologías, Protégé permite su integración con otras herramientas y plataformas mediante la exportación a formatos estándar como RDF/XML y TTL. Esto facilita su aplicación en diversos ámbitos, como la automatización de procesos, el análisis de datos y la optimización, de la cual nos basamos en el formato RDF para poder migrar la información para el análisis en los grafos de conocimiento.

En la siguiente imagen se muestran los conceptos esenciales vinculados al índice de gestión de la ergonomía, los cuales han sido minuciosamente seleccionados, evaluados y aprobados por especialistas en el área de aplicación. Estos conceptos constituyen los pilares fundamentales que inciden en la valoración y optimización de las condiciones ergonómicas en el entorno laboral, proporcionando un marco estructurado para su gestión.

La identificación y análisis de estos conceptos se llevó a cabo a través de un enfoque metodológico riguroso, basado en el conocimiento y la experiencia de los especialistas del dominio.

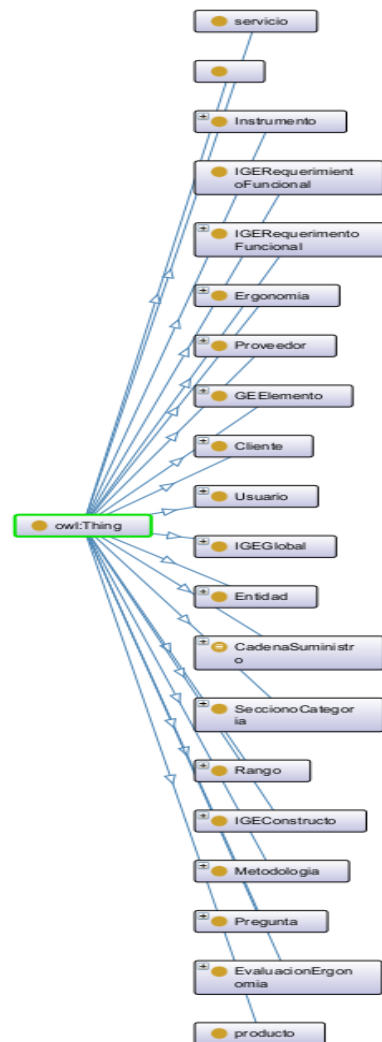


Figura 3.7 Representación de los conceptos sobre el índice de gestión de la ergonomía. Fuente: Elaboración propia.

3.10.1. Creación de Tripletas

Con base en la ontología creada, se generaron las siguientes tripletas RDF que representan las relaciones definidas entre los distintos elementos del dominio del índice de gestión de la ergonomía. Estas tripletas fueron construidas a partir de las clases, propiedades y vínculos identificados durante el proceso de modelado, y reflejan las conexiones establecidas entre empresas, usuarios, instrumentos de evaluación, procesos y normativas.

A continuación, se presenta una tabla con algunas de las tripletas generadas como resultado del trabajo ontológico desarrollado en este proyecto.

Tripletas RDF

Sujeto	Predicado	Objeto
:tieneServicio	rdfs:domain	:Empresa
:tieneServicio	rdfs:range	:Servicio
:tieneProducto	rdfs:domain	:Empresa
:tieneProducto	rdfs:range	:Producto
:produce	rdfs:domain	:Empresa
:produce	rdfs:range	:Entidad
:realizaEvaluacion	rdfs:domain	:Usuario
:realizaEvaluacion	rdfs:range	:EvaluacionErgonomia
:tieneSeccionCategoria	rdfs:domain	:Instrumento
:tieneSeccionCategoria	rdfs:range	:SeccionCategoria
:contesta	rdfs:domain	:Usuario
:contesta	rdfs:range	:Instrumento
:requiereMetodologias	rdfs:domain	:Instrumento
:requiereMetodologias	rdfs:range	:Metodologia
:Experto	:contesta	:Instrumento
:MandoMedioSuperior	:contesta	:Instrumento
:creaEmpresa	rdfs:domain	:Admin
:creaEmpresa	rdfs:range	:Empresa
:creaEmpresa	rdfs:domain	:SuperUsuario
:creaEmpresa	rdfs:range	:Empresa
:creaUsuario	rdfs:domain	:SuperUsuario
:creaUsuario	rdfs:range	:Usuario
:tienePreguntas	rdfs:domain	:Instrumento
:tienePreguntas	rdfs:range	:Pregunta
:fechaContestoInstrumento	rdfs:domain	:Usuario
:fechaContestoInstrumento	rdfs:range	xsd:date
:EvaluadoporPregunta	rdfs:domain	:IGERRequerimientoFuncional
:EvaluadoporPregunta	rdfs:range	:Pregunta

:porSeccionCategoria	rdfs:domain	:IGEConstructo
:porSeccionCategoria	rdfs:range	:SeccionCategoria
:calculadoPorEmpresa	rdfs:domain	:GEElemento
:calculadoPorEmpresa	rdfs:range	:Empresa
:calculadoPorProveedor	rdfs:domain	:GEElemento
:calculadoPorProveedor	rdfs:range	:Proveedor
:calculadoPorCliente	rdfs:domain	:GEElemento
:calculadoPorCliente	rdfs:range	:Cliente
:calculadoConjuntoPor	rdfs:domain	:IGEGlobal
:calculadoConjuntoPor	rdfs:range	:Proveedor, :Empresa, :Cliente
:evaluadaPorInstrumento	rdfs:domain	:Ergonomia
:evaluadaPorInstrumento	rdfs:range	:Instrumento

Tabla 3.4 Tripletas RDF. Fuente: Elaboración propia.

La siguiente imagen muestra las clases y subclases que han sido creadas a partir del modelo conceptual basado en los conceptos clave del índice de gestión de la ergonomía. Estos conceptos fueron identificados y estructurados por expertos en el dominio, con el objetivo de representar de manera precisa las relaciones y elementos fundamentales dentro de la ontología. La jerarquía establecida nos permitió organizar la información de forma estructurada, facilitando el análisis y la aplicación de los principios ergonómicos.

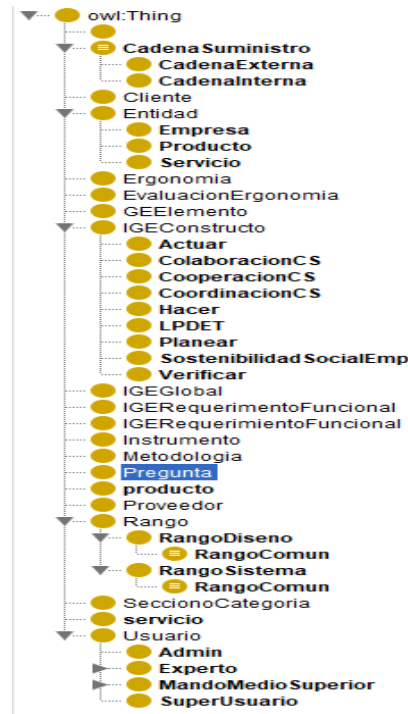


Figura 3.8 Representación de las clases y subclases sobre el índice de gestión de la ergonomía. Fuente: Elaboración propia.

En la imagen que se muestra continuación, se observan las relaciones entre clases del índice de gestión de la ergonomía. Estas relaciones, permiten representar la forma en que interactúan los distintos conceptos dentro de la ontología, facilitando su análisis y aplicación en la gestión ergonómica. A través de esta estructura, es posible visualizar cómo las clases se conectan entre sí, proporcionando un marco claro para el estudio.

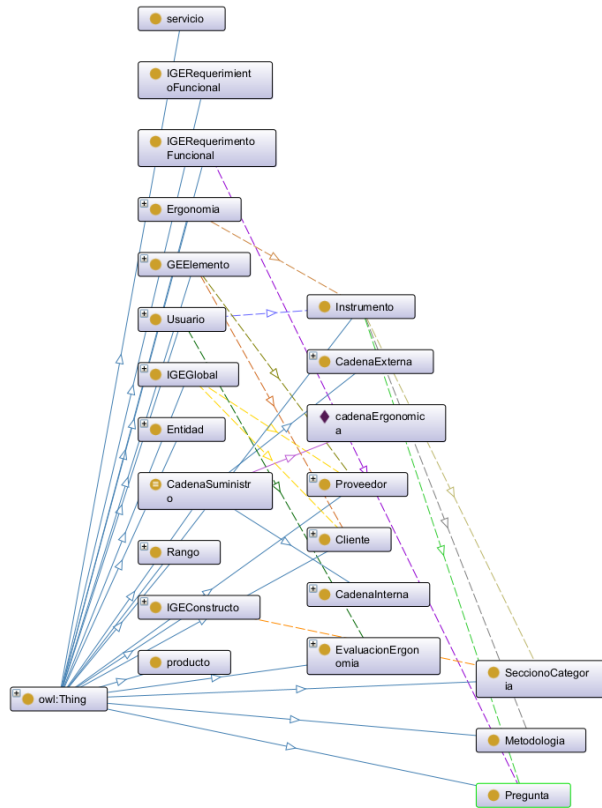


Figura 3.9 Representación de la relación entre clases sobre el índice de gestión de la ergonomía. Fuente: Elaboración propia.

3.11. Grafos de Conocimiento

Para representar y analizar los datos obtenidos a través de la aplicación del instrumento, hemos empleado diversas metodologías, con un enfoque particular en el uso de grafos de conocimiento. Según (MOSLMI, GALLOFRÉ OCAÑA, OPDAHL, & VERES, 2020), los grafos de conocimiento utilizan un modelo basado en grafos para estructurar, gestionar y organizar información en distintos dominios que requieren integración y extracción de valor a partir de múltiples fuentes de datos. Esta metodología ofrece ventajas significativas en comparación con los modelos relacionales tradicionales, proporcionando una estructura flexible y altamente adaptable para representar relaciones complejas entre entidades.

Uno de los principales beneficios de los grafos de conocimiento, como señala (Lu, Laublet, & Stankovic, 2016), es su capacidad para postergar la definición de un esquema rígido, lo que permite que la información se adapte y evolucione dinámicamente a medida que se incorporan nuevos datos. A diferencia de los modelos relacionales convencionales, los lenguajes de consulta de grafos permiten no solo realizar operaciones estándar como uniones, sino también explorar relaciones entre entidades, lo que resulta fundamental para el análisis de redes complejas.

Además, los grafos de conocimiento pueden incorporar ontologías y reglas semánticas, lo que facilita una interpretación más precisa de los datos y permite definir el significado de los términos utilizados dentro del modelo. Esto, a su vez, mejora la interoperabilidad y la capacidad de razonamiento automático sobre la información representada en el grafo.

En los últimos años, han surgido nuevas técnicas que combinan el aprendizaje automático y el Soft-Computing con los grafos de conocimiento, lo que ha abierto nuevas posibilidades en el análisis de datos. Estas innovaciones permiten aplicar modelos avanzados como el clustering para la detección de patrones, la predicción de tendencias y la optimización de procesos en diversos ámbitos, consolidando a los grafos de conocimiento como una herramienta poderosa para la exploración y explotación de datos en entornos complejos.

3.11.1. Herramientas de Neo4j

Durante la implementación en Neo4j para la creación de los grafos de conocimiento, se identificó la necesidad de utilizar diversas herramientas que esta plataforma ofrece para la carga de la ontología y de los datos correspondientes al dominio analizado como n10s y Neo4j ETL Tool de las cuales hablaremos más adelante. Neo4j resultó ser una opción adecuada debido a su capacidad para gestionar y almacenar grandes volúmenes de datos interrelacionados de forma eficiente. Esta característica fue clave para la construcción del modelo de datos, ya que permitió estructurar la información de manera clara, y al mismo tiempo, facilitó la ejecución y creación de consultas sobre las relaciones existentes entre los distintos elementos del sistema.

3.11.2. Neosemantics (n10s)

Al crear la ontología en Protégé y después querer implementar los grafos de conocimiento en Neo4j nos vimos en la necesidad de buscar la manera de migrar la misma, dado eso se encontró que Neo4j nos ofrece un plugin que facilita integrar modelos semánticos en la base de datos.

Neosemantics nos posibilita la integración de datos dentro de una base de datos de grafos. Esta extensión permite trabajar con datos en formato RDF (Resource Description Framework) y ejecutar consultas dentro de Neo4j. Con Neosemantics, los usuarios pueden almacenar, consultar y manipular datos semánticos en un entorno basado en grafos, aprovechando tanto la flexibilidad de las bases de datos de grafos como las ventajas de los datos semánticos. Esto resulta especialmente útil en campos como la web semántica, la inteligencia artificial y el análisis de datos complejos, donde la interrelación de datos estructurados de manera semántica es clave para obtener información valiosa. El siguiente comando nos permite instalar el plugin de manera más rápida dentro de Neo4j para el usuario y su posterior uso.

Instalación de plugin para n10s

```
dbms.security.procedures.unrestricted=n10s.*
```

La siguiente imagen muestra cómo se debe incorporar la instrucción para poder utilizar el plugin Neosemantics (n10s) en Neo4j, específicamente activando los procedimientos no restringidos para el plugin. Esta instrucción, `dbms.security.procedures.unrestricted=n10s.*`, se debe añadir en la configuración de `neo4j.conf` para habilitar todas las funcionalidades del plugin n10s.



Figura 3.10 Implementación de n10s para la ontología. Fuente: Elaboración propia.

La instrucción inicializa la configuración del grafo semántico en Neo4j utilizando el plugin Neosemantics (n10s). Esta configuración es esencial para poder trabajar con datos RDF (Resource Description Framework) dentro de Neo4j y realizar operaciones semánticas de manera efectiva.

```
CALL n10s.graphconfig.init();
```

El siguiente comando realiza la importación de datos RDF desde un archivo externo (en este caso un archivo `.owl`) hacia Neo4j, utilizando el plugin Neosemantics (n10s).

```
CALL n10s.rdf.import.fetch('file:///H:/MCA/ /Owls/ergonomics.owl', 'RDF/XML');
```

3.11.3. Neo4j ETL Tool

Utilizamos La herramienta Neo4j ETL (Extract, Transform, Load) para la extracción de los datos de la base relacional donde se alojan. Su función es simplificar la extracción de datos desde sistemas tradicionales, como bases de datos SQL, convertir esos datos a un formato compatible con los grafos y cargarlos en Neo4j. Esta herramienta resulta particularmente útil cuando se deben trasladar grandes volúmenes de datos estructurados, permitiendo aprovechar las ventajas de los grafos para realizar consultas más complejas. Además, facilita la integración de datos y asegura que las relaciones entre los datos sean correctamente mantenidas en el proceso de migración.

Las siguientes ilustraciones presentan el proceso de implementación de la herramienta *ETL Tool*, utilizada para la extracción de datos desde una base de datos relacional. En esta base de datos se almacenan los registros que posteriormente serán transformados y cargados en Neo4j, donde se representarán en forma de grafos de conocimiento. Este procedimiento permite estructurar la información de manera más intuitiva y establecer conexiones entre los diferentes elementos, facilitando su análisis y visualización dentro del entorno gráfico de Neo4j.

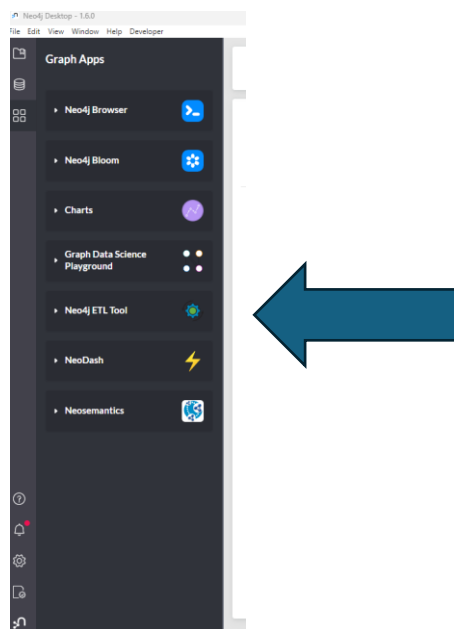


Figura 3.11 Implementación de ETL Tool para la migración de los datos. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, la imagen ilustra las bases de datos relacionales disponible, permitiendo identificar y seleccionar aquella a la que se desea conectar para llevar a cabo el proceso de extracción de datos. La elección de la base de datos adecuada es un paso importante, ya que determina la fuente de la información que será transformada y posteriormente almacenada en Neo4j. Una vez seleccionada la base de datos relacional de interés, se procede a establecer la conexión con ella mediante la herramienta ETL Tool, asegurando que los datos extraídos sean los correctos y pertinentes para su representación.

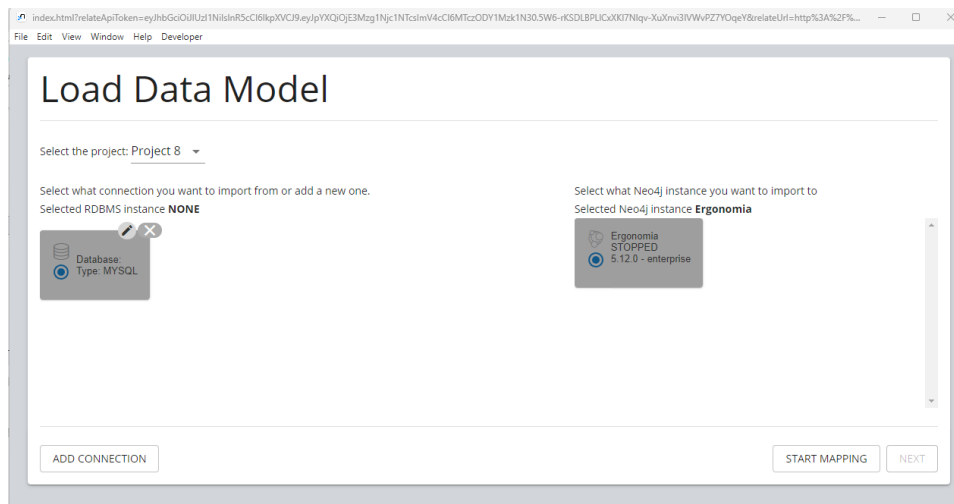


Figura 3.12 Bases de datos relacionales encontradas. Fuente: Elaboración propia.

En la imagen de abajo, nos muestra el proceso de selección del tipo de base de datos con la que se establecerá la conexión para la extracción de datos. En este caso, se elige MySQL como sistema de gestión de base de datos relacional. Una vez seleccionado, la interfaz solicita las credenciales de acceso, incluyendo el nombre de usuario y la contraseña, necesarios para autenticar la conexión con el servidor de base de datos. Esta autenticación garantiza que solo los usuarios autorizados puedan acceder a la información almacenada y realizar operaciones de extracción de datos de manera segura y controlada.

The screenshot shows a web browser window with a URL starting with 'index.html?relateApiToken=...'. The page title is 'Mapping successful'. The main heading is 'JDBC Connection'. Below the heading, there is a message: 'Database access requires an authenticated connection and a valid JDBC driver.' The form contains the following fields and values:

- Connection Name: (empty)
- Host: localhost
- Port: 3306
- Type: mysql (dropdown menu)
- Database: (empty)
- Connection URL: jdbc:mysql://localhost:3306/?autoReconnect=true&useSSL=false&useCursorFetch=true&allowPublicKeyRetrieval=true
- Username: root
- Password: (masked with dots)

At the bottom of the form, there are two buttons: 'BACK TO START' and 'TEST AND SAVE CONNECTION'.

Figura 3.13 Conexión a la BD relación donde se solicitan las credenciales. Fuente: Elaboración propia.

La siguiente imagen ilustra cómo podemos seleccionar de manera precisa los nodos que deseamos extraer de una base de datos relacional utilizando la herramienta ETL Tool de Neo4j. Gracias a su interfaz visual, podemos definir qué entidades queremos importar, mapear columnas a propiedades de los nodos y establecer conexiones entre ellos, optimizando así la transición a un modelo de datos más flexible y eficiente.

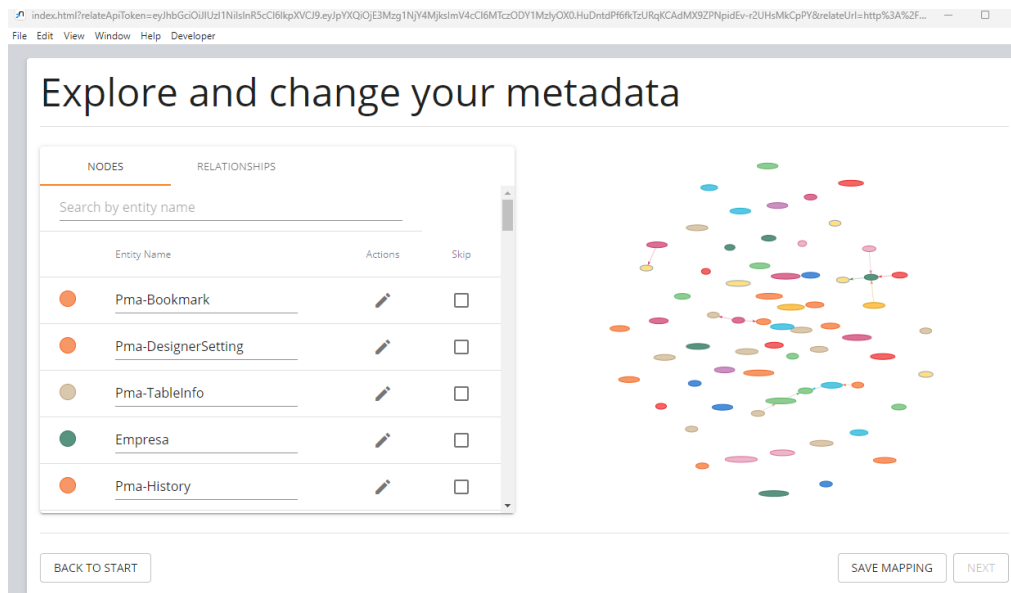


Figura 3.14 Implementación de ETL Tool para la migración de los datos. Fuente: Elaboración propia.

3.11.4. Consultas en Neo4j

Una vez cargados los datos, se presentaron algunas de las consultas que fueron identificadas como fundamentales por el especialista en el dominio. Estas consultas fueron seleccionadas con base en su relevancia dentro del análisis y manejo de la información en la base de datos Neo4j. Para cada una de ellas, se detalla el contexto en el que se aplican, su importancia dentro del modelo de datos, y la consulta *Cypher* que se diseñó para obtener la información deseada. Además, se explican los criterios utilizados para construir la consulta, los filtros aplicados y la lógica detrás de su formulación. De esta manera, se proporciona un marco claro para entender cómo se estructuran las consultas en Neo4j y cómo estas permiten extraer, analizar y visualizar datos relevantes dentro del grafo.

La tabla a continuación muestra las consultas que fueron consideradas por el especialista del dominio para la extracción de esa información que considera valiosa para la toma de decisiones.

Consultas del especialista del dominio	
1.	Puesto / Nivel de experiencia en ergonomía / ≥ 4
2.	Puesto / Nivel de experiencia en ergonomía / ≤ 3
3.	Puestos / eslabones (cliente) / Constructos (planear...)/ ítems ≥ 4
3.1	Puestos / productor / planear / ítems ≥ 4
3.2	Puestos / cliente / planear / ítems ≥ 4
3.3	Puestos / productor / sostenibilidad social / ítems ≥ 4
4.	Puestos / eslabones (cliente) / Constructos (planear...)/ ítems ≤ 3
4.1	Puestos / proveedor / Hacer/ ítems ≤ 3
4.2	Puestos / productor / planear / ítems ≤ 3
4.3	Puestos / cliente / planear / ítems ≤ 3
4.4	Puestos / productor / sostenibilidad social / ítems ≤ 3
5.	Puestos / eslabones (proveedor) / Constructos (planear...)/ ítems = 0%
6.	Puestos / eslabones (proveedor) / Constructos (planear...)/ % ítems \leq LIRD % de los expertos.
7.	Puestos / eslabones (proveedor) / Constructos (planear...)/ % ítems \geq LIRD % de los expertos
8.	Puesto / Nivel de experiencia en ergonomía / % ítems \leq LIRD % de los expertos
9.	Puesto / Nivel de experiencia en ergonomía / % ítems \geq LIRD % de los expertos

Tabla 3.5 Consultas del especialista del dominio. Fuente: Elaboración propia.

La siguiente tabla muestra una de las consultas que ayuda al especialista del dominio en analizar a las personas y el puesto que desempeñan donde su nivel de experiencia en ergonomía es mayor o igual a cuatro.

<pre> 1 Puesto / Nivel de experiencia en ergonomía / ≥ 4 MATCH (u:Usuario) // Etiqueta WHERE u.Nombre IS NOT NULL AND u.Puestosquedesempeñaactualmente IS NOT NULL AND (u.Mencioneelrangodeañosdeexperienciaenelmanejodelosiguientest) >= 4 // Creamos los nodos para las propiedades si no existen MERGE (n:Nombre {nombre: u.Nombre}) MERGE (p:Puesto {puesto: u.Puestosquedesempeñaactualmente}) MERGE (e:Experiencia {rango: u.Mencioneelrangodeañosdeexperienciaenelmanejodelosiguientest}) // Creamos las relaciones entre los nodos MERGE (n)-[:DESEMPEÑA]->(p) MERGE (n)-[:EXPERIENCIA_EN_ERGONOMIA]->(e) // Devolver nodos y relaciones RETURN n, p, e; </pre>
--

Tabla 3.6 Consulta Cypher. Fuente: Elaboración propia.

La tabla a continuación muestra como fueron creados e identificados los ítems y a que grupo pertenecen en el cual también se enlista un ejemplo de la creación de este para posteriormente poder crearlos en Neo4j.

Propiedad	Valor	Grupo
SedeterminacómosecumpliranlosobjetivosdeLaGE	3	
Laaltadireccióndemuestraliderazgoycompromisoalestablecer	4	Hacer
SecontrolalainformacióndocumentadarequeridaporLaGE	2	Planear
Laaltadirecciónenfatzalaconsultadelostrabajadoresydelaspartes	4	Actuar
Se participa en auditorías recorridos para la identificación	1	Colaboración
Se coordina acciones de GE donde participen sus clientes	1	Coordinación
Se da seguimiento a los controles implementados por medio del uso de herrera	2	Hacer
Se fomenta la comunicación efectiva y transparente sobre las prácticas E	1	Coordinación
La altadirección se compromete a implementar y mantener una política	4	Actuar
Se planea la evaluación de riesgos ergonómicos los procesos necesaria	1	Planear
Se participa en la implementación de medidas de control acciones prevención	1	Colaboración
Se conservainformacióndocumentadacomoevidenciadelosresultados	2	Hacer
Se comparten recursos y capacitación con sus clientes	1	Colaboración
La altadirección enfatzalaconsultadelostrabajadores sobre	4	Actuar
Se conservainformacióndocumentadacomoevidenciadelosincidentes	2	Verificar
Se conservainformacióndocumentadacomoevidenciadelosresultados	2	Hacer
Se realizan acciones colectivas con sus proveedores para lograr beneficios	2	Colaboración
Se considera que su organización colabora de manera efectiva y en conjunto	1	Liderazgo y Participación
La altadireccióndemuestraliderazgoycompromisoalasegurel cumplimiento	4	Actuar
Se establece implementa y mantiene procesos para monitorear	2	Hacer
Se coordina acciones donde participen sus proveedores para lograr beneficio	1	Coordinación
Se determina qué necesitan seguimiento y medición los métodos necesarios	3	Hacer
Lasostenibilidadsocial empresarial procura el bienestar del cuidado	4	Sostenibilidad
Se establecen acciones de colaboración sobre aspectos ergonómicos	2	Liderazgo y Participación
MATCH (u:Usuario) MERGE (g:G Sostenibilidad_A {id: 16}) // Nodo para el grupo SET g.Lasostenibilidadsocial empresarial procura el bienestar del cuidado_A = u.Lasostenibilidadsocial empresarial procura el bienestar del cuidado_A,		

<pre> g.Sepromuevelaparticipacióndeproveedoresyclientescomoempresa_A = u.Sepromuevelaparticipacióndeproveedoresyclientescomoempresa_A, g.Ladeterminaciónyevaluacióndelosriesgosergonómicosyoportunidad_A = u.Ladeterminaciónyevaluacióndelosriesgosergonómicosyoportunidad_A, g.Seofrecelacapacitaciónyentrenamientonecesarioparaeldesarro_A = u.Seofrecelacapacitaciónyentrenamientonecesarioparaeldesarro_A, g.Secuentaconprogramasdevoluntariadoyalianzasconorganizacion_A = u.Secuentaconprogramasdevoluntariadoyalianzasconorganizacion_A MERGE (u)-[:PERTENECE_A]->(g) RETURN u, g; </pre>		
---	--	--

Tabla 3.7 Consulta Cypher para generar un grupo. Fuente: Elaboración propia.

3.12. Kmeans

Una vez identificados los ítems a los cuales se les aplicaría el agrupamiento y el algoritmo de k-means se procedió al análisis de estos siguiendo la secuencia de aplicación siguiente y que como nos dice (Kanungo, Mount, Netanyahu, Piatko, & Silverman, 2002), el algoritmo de agrupamiento K-Means es un método de aprendizaje no supervisado utilizado para resolver problemas de agrupación en clústeres. Su funcionamiento sigue un proceso sencillo que clasifica un conjunto de datos en una cantidad de clústeres determinada por el parámetro k. En Neo4j, la biblioteca GDS realiza el agrupamiento de clústeres utilizando las propiedades de los nodos. Para ello, se utiliza una propiedad de nodo representada como una matriz flotante que se pasa como entrada mediante el parámetro nodeProperty. A continuación, los nodos del gráfico se ubican como puntos en un espacio de múltiples dimensiones, donde cada dimensión corresponde a una propiedad de la matriz.

El algoritmo comienza seleccionando k centroides iniciales, que son matrices de dimensiones múltiples, representando los centros de los grupos. Estos centroides actúan como representantes de cada grupo.

Posteriormente, cada nodo calcula su distancia euclidiana con respecto a cada uno de los centroides y se asigna al grupo cuyo centroide esté más cerca. Una vez realizadas las asignaciones, cada grupo recalcula su centroide como la media de las posiciones de los nodos que le han sido asignados.

El proceso se repite con los nuevos centroides hasta que los resultados se estabilicen, es decir, cuando los nodos cambian de grupo solo unas pocas veces por iteración, o cuando se alcanza el número máximo de iteraciones.

3.12.1. Consideraciones

Para que el algoritmo K-Means funcione adecuadamente, es necesario que las matrices de propiedades de todos los nodos tengan la misma cantidad de elementos. Además, deben ser numéricas y no incluir valores NaN.

3.12.2. Implementación de Kmeans

La siguiente tabla muestra la instrucción que se encargará de construir el gráfico de ejemplo dentro de la base de datos Neo4j, creando los nodos y relaciones especificados en el esquema propuesto para posteriormente aplicar el algoritmo de Kmens.

Datos de PGPlanear	
Nombre	Secuentaconobjetivosdeergonomiaactualizadosydocumentados
Edgar	[3.0]
Pedro	[5.0]
Juan	[2.0]
Esteban	[4.0]
Carlos	[1.0]
Antonio	[3.0]
Jaime	[4.0]
Omar	[2.0]
Luis	[5.0]
Sofía	[1.0]
Mateo	[3.0]
Valeria	[2.0]
Ricardo	[4.0]
Natalia	[5.0]
Andrés	[3.0]
Carla	[1.0]
Javier	[4.0]
Gabriela	[5.0]
Fernando	[2.0]
Camila	[1.0]

Tabla 3.8 Respuestas del ítem donde se hace la agrupación en 3 clúster. Fuente: Elaboración propia

La siguiente instrucción visualizará el gráfico y lo guardará en el catálogo de gráficos

```

MATCH (c:PGPlanear)
RETURN gds.graph.project(
  'responde3',
  c,
  null,
  {
    sourceNodeProperties: c {
      .Secuentaconobjetivosdeergonomiaactualizadosydocumentados },
    targetNodeProperties: {}
  }
)

```

3.12.3. Estimación del uso de memoria

Primero, realizaremos una estimación del costo de ejecutar el algoritmo utilizando el procedimiento de estimación. Este procedimiento se puede aplicar con cualquier modo de ejecución, y en este caso utilizaremos el modo de escritura. La estimación es útil para entender el impacto que tendrá la ejecución del algoritmo sobre la memoria de su gráfico. Al ejecutar el algoritmo más tarde en uno de los modos de ejecución, el sistema llevará a cabo una estimación. Si la estimación indica que existe una alta probabilidad de que la ejecución supere las limitaciones de memoria, la ejecución será bloqueada.

A continuación, se estiman los requisitos de memoria para la ejecución del algoritmo.

```
CALL gds.kmeans.write.estimate('responde3', {
  writeProperty: 'kmeans',
  nodeProperty: 'Secuentaconobjetivosdeergonomiaactualizadosydocumentados'
})
YIELD nodeCount, bytesMin, bytesMax, requiredMemory
```

Tabla de resultados

recuento de nodos	bytesMin	bytes Máximo	Memoria requerida
20	33248	54240	"[32 KiB ... 52 KiB]"

Tabla 3.9 Estimación de memoria. Fuente: Elaboración propia.

3.12.4. Arroyo

El algoritmo proporciona el clúster correspondiente a cada nodo. Esto nos da la posibilidad de examinar los resultados de manera directa o realizar un procesamiento adicional en *Cypher* sin generar efectos secundarios.

La siguiente sentencia muestra la creación de los *cluster*.

```
CALL gds.kmeans.stream('responde3', {
  nodeProperty: 'Secuentaconobjetivosdeergonomiaactualizadosydocumentados',
  k: 3,
  randomSeed: 10
})
YIELD nodeId, communityId
```

RETURN gds.util.asNode(nodeId).nombre AS name,
 gds.util.asNode(nodeId).Secuentaconobjetivosdeergonomiaactualizadosydocumentados AS experienceRangeE, communityId
 ORDER BY communityId, name ASC

Tabla de resultados y de las comunidades.

userName	communityId
"Andrés"	0
"Antonio"	0
"Edgar"	0
"Fernando"	0
"Juan"	0
"Mateo"	0
"Omar"	0
"Valeria"	0
"Esteban"	1
"Gabriela"	1
"Jaime"	1
"Javier"	1
"Luis"	1
"Natalia"	1
"Pedro"	1
"Ricardo"	1
"Camila"	2
"Carla"	2
"Carlos"	2
"Sofia"	2

Tabla 3.10 Resultados de la agrupación la cual nos muestra la creación de los 3 grupos. Fuente: Elaboración propia.

Este capítulo nos presenta de manera detallada el desarrollo del proyecto, integrando enfoques metodológicos, conceptuales y tecnológicos que permitieron estructurar, representar y analizar el conocimiento del dominio en estudio. Como la aplicación de la metodología KMOS-SSA, apoyada por distintas herramientas con el Léxico Extendido de Lenguaje, el Modelo Conceptual y el Modelo de Metas Estratégicas, los cuales facilitaron la identificación y formalización de los conceptos y necesidades clave. También, utilizando las herramientas analíticas PQR y CATWOE, que permitieron comprender el problema desde una perspectiva estructurada y sistémica.

Con base en esta fundamentación, se procedió al desarrollo de una ontología específica del dominio, utilizando *Protégé* como herramienta principal de modelado. Posteriormente, dicha ontología fue llevada para su representación en forma de grafos de conocimiento, empleando la plataforma *Neo4j*. En este proceso, se utilizó la herramienta *Neosemantics (n10s)* para facilitar la migración y el manejo del modelo ontológico dentro del grafo. Adicionalmente, para la extracción de datos desde la base de datos relacional y su posterior carga en Neo4j, se recurrió a la herramienta *Neo4j ETL Tool*, lo que permitió integrar de manera estructurada la información relevante al entorno del grafo de conocimiento.

Finalmente, se implementaron consultas especializadas en Cypher para la exploración del grafo, y se aplicó el algoritmo K-means con el fin de realizar una segmentación analítica que permitiera identificar patrones relevantes en los datos.

IV. Resultados y Validación de los Grafos de Conocimiento

En este capítulo, abordaremos en detalle los grafos de conocimiento realizados asegurando que cada etapa del proceso contribuya a una representación precisa y significativa del dominio en estudio.

En primer lugar, llevamos a cabo una revisión exhaustiva para comprender en profundidad los conceptos clave del dominio. Para ello, aplicamos diversas metodologías de extracción de conocimiento, con el objetivo de recopilar información directamente de los especialistas en la materia. Este proceso nos permitió identificar, definir y estructurar los elementos fundamentales que posteriormente formarían la base del grafo de conocimiento.

Una vez completada la fase de recolección de conceptos, procedimos a su representación formal en el grafo. Para garantizar la validez y relevancia de esta representación, organizamos reuniones periódicas con los especialistas del dominio. Durante estas sesiones, presentamos los conceptos estructurados y recopilamos retroalimentación clave, lo que permitió ajustar y refinar la representación según las necesidades y expectativas de los expertos.

En el transcurso de estas reuniones, los especialistas destacaron la importancia de desarrollar ciertas consultas específicas, que resultarían de gran utilidad para los analistas de datos al momento de extraer información y generar conocimiento a partir del grafo.

Finalmente, con base en estas recomendaciones, diseñamos e implementamos dichas consultas, asegurando que su ejecución permitiera obtener resultados relevantes y comprensibles. La representación de estas consultas dentro del grafo de conocimiento será presentada en las siguientes secciones, donde analizaremos su funcionamiento y aplicación en detalle.

4.1 Grafos de Conocimiento en Neo4j

Esta sección proporciona una guía detallada sobre cómo acceder a la interfaz de Neo4j para realizar consultas en los grafos de conocimiento, así como la manera en que los usuarios pueden interactuar con ellos de forma eficiente.

Para comenzar, se describirá cómo navegar dentro de la interfaz, explorar los nodos y relaciones dentro del grafo, y utilizar las herramientas de visualización para interpretar mejor la información representada. Se incluirán ejemplos prácticos de consultas solicitadas por el especialista del dominio, mostrando cómo extraer datos específicos.

4.2 Inicialización de la BD en Neo4j

A continuación, se explica el proceso para seleccionar la base de datos con la que se va a trabajar. La siguiente imagen ilustra cómo iniciar el proyecto, seleccionándolo y luego haciendo clic en Start para habilitar su uso. Una vez inicializada nos debe marcar en Activa la BD.

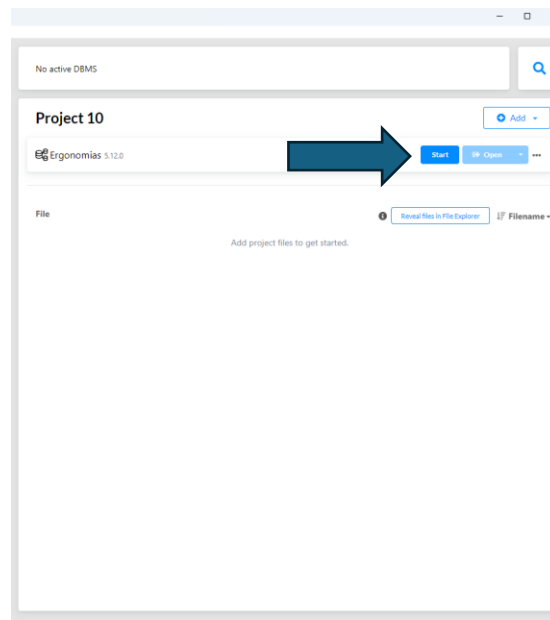


Figura 4.1 Inicialización de la Base de Datos. Fuente: Elaboración propia.

4.2.1 Neo4j Browser

Para la ejecución de las consultas específicas requeridas por el especialista del dominio, utilizamos Neo4j Browser, una herramienta visual que facilita la interacción con la base de datos de grafos. Esta interfaz nos permite no solo escribir y ejecutar consultas en el lenguaje Cypher, sino también visualizar los resultados de manera estructurada y gráfica. Además, Neo4j Browser ofrece la posibilidad de guardar consultas previamente realizadas, lo que permite reutilizarlas en futuras ejecuciones sin necesidad de volver a escribirlas desde cero. Esto resulta especialmente útil para optimizar el tiempo y mejorar la eficiencia en el análisis de datos dentro del grafo de conocimiento.

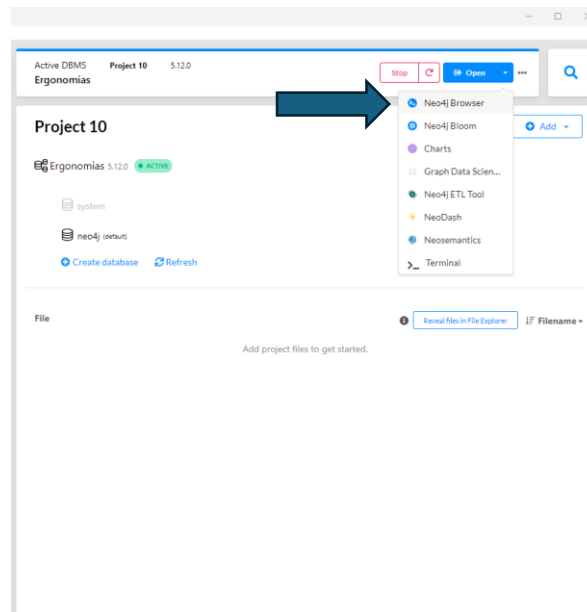


Figura 4.2 Inicialización de Neo4j Browser. Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Guardado de Consultas

La siguiente ilustración nos permite visualizar de manera clara cómo los usuarios pueden almacenar consultas previamente definidas dentro de Neo4j Browser para su uso en futuras ejecuciones. Esta funcionalidad es especialmente útil cuando se trabaja con consultas recurrentes o de alta complejidad, ya que evita la necesidad de reescribirlas cada vez que se requieran. Al guardar las consultas, los analistas y especialistas del dominio pueden acceder rápidamente a ellas, optimizando el tiempo de trabajo y asegurando la consistencia en el análisis de los datos. Además, esta característica facilita la colaboración entre diferentes usuarios del sistema, ya que permite compartir consultas predefinidas para garantizar que todos trabajen con la misma información y estructura de consultas.

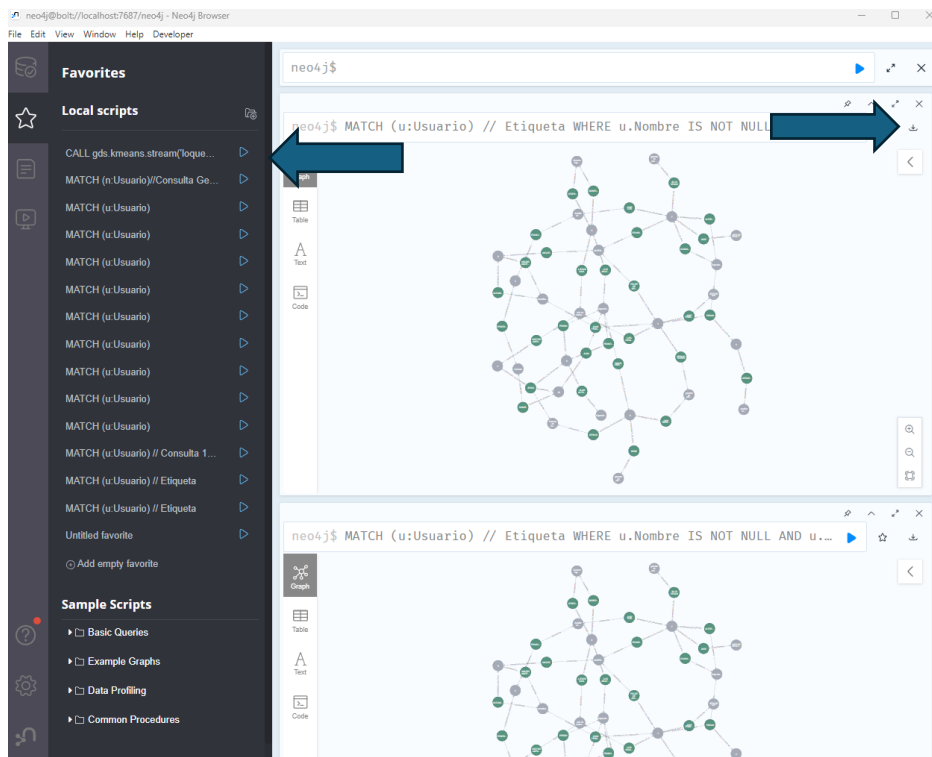


Figura 4.3 Guardado de consultas Neo4j Browser. Fuente: Elaboración propia.

Consulta 3

El siguiente Grafo de conocimiento proporciona información detallada sobre los puestos de los eslabones dentro del constructo "Planear", específicamente en relación con los clientes. En este caso, se analiza a aquellos que han respondido el ítem "Se controla la información documentada requerida por la GE" con un valor mayor o igual a cuatro. Esta consulta permite identificar a los clientes que cumplen con este criterio y facilita el análisis de su nivel de cumplimiento en la gestión de la información documentada.

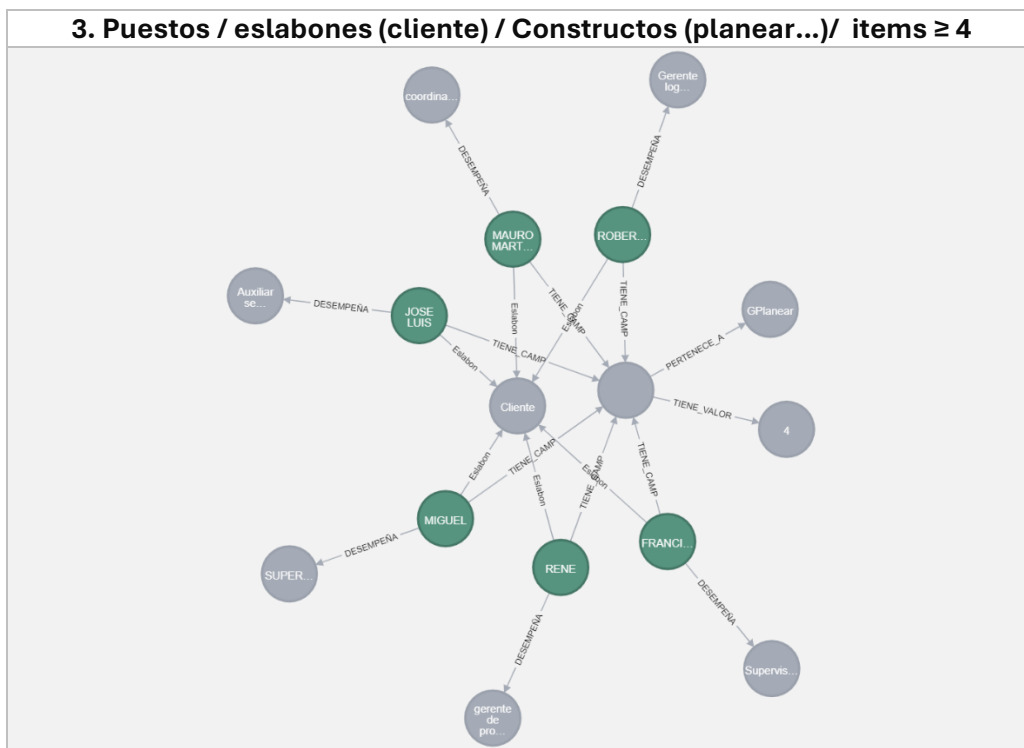


Figura 4.6 Resultado de consulta 3 de Neo4j Browser. Fuente: Elaboración propia.

Consulta 4

La siguiente consulta permite identificar a las personas y los puestos que desempeñan dentro del grupo de preguntas del constructo Planear, específicamente a aquellos que tienen el rol de productores. Se filtran los resultados para incluir únicamente a quienes han respondido el ítem correspondiente con un valor mayor o igual a cuatro, lo que facilita el análisis e identificación de estos.

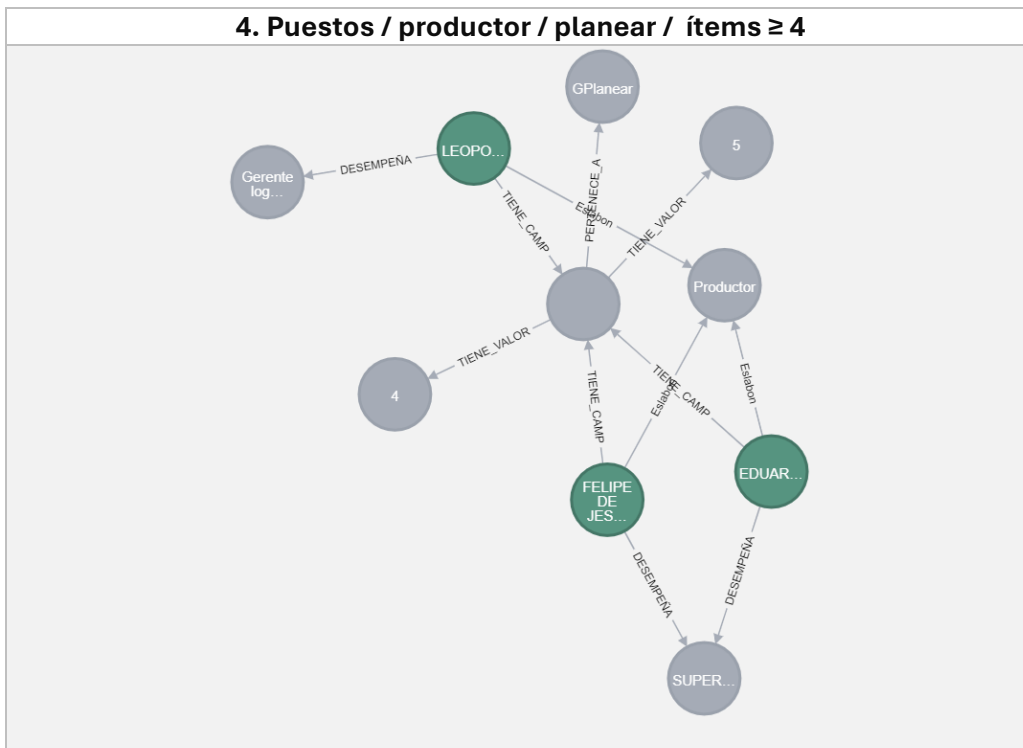


Figura 4.7 Resultado de consulta 4 de Neo4j Browser. Fuente: Elaboración propia.

Consulta 6

La siguiente consulta permite verificar el puesto de los proveedores dentro del constructo Planear, filtrando aquellos casos en los que la respuesta del ítem sea menor o igual al límite inferior del rango de diseño.

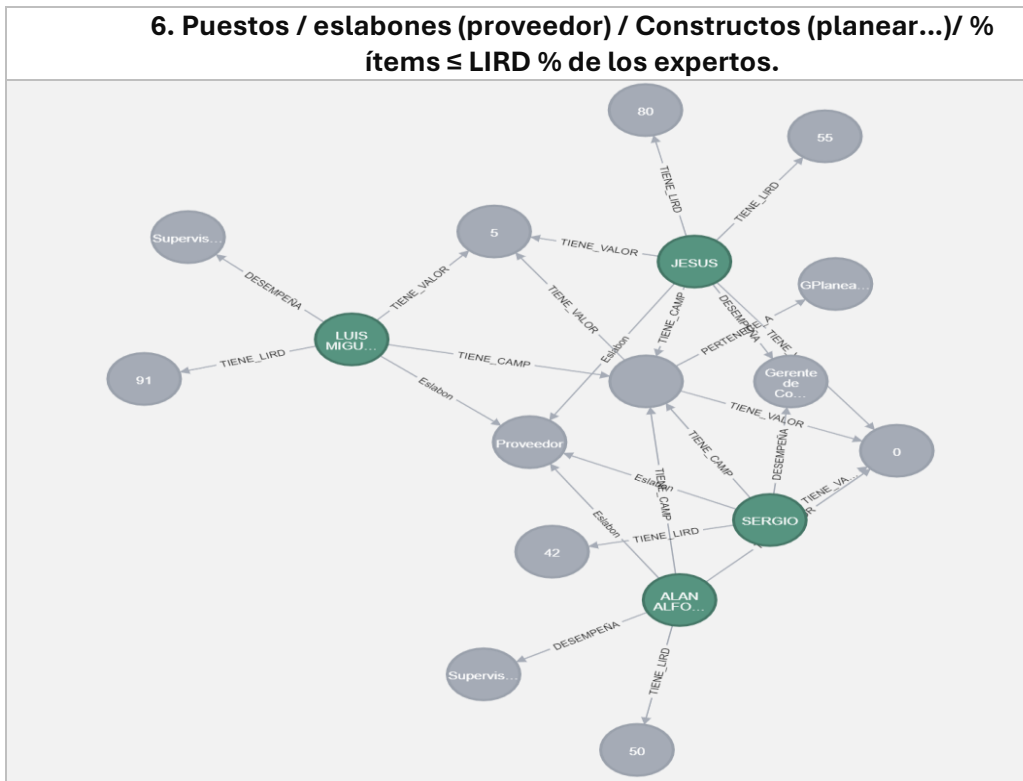


Figura 4.9 Resultado de consulta 6 de Neo4j Browser. Fuente: Elaboración propia.

Consulta 7

La consulta que se muestra a continuación permite obtener el puesto del eslabón proveedor dentro del constructo Planear, donde el ítem contestado cumple con la condición de ser mayor o igual al límite inferior del rango de diseño. Este filtro asegura que solo se seleccionen aquellos proveedores cuya respuesta esté dentro de los parámetros establecidos, lo que facilita la identificación de los puestos correspondientes a los proveedores alineados con el rango de diseño.

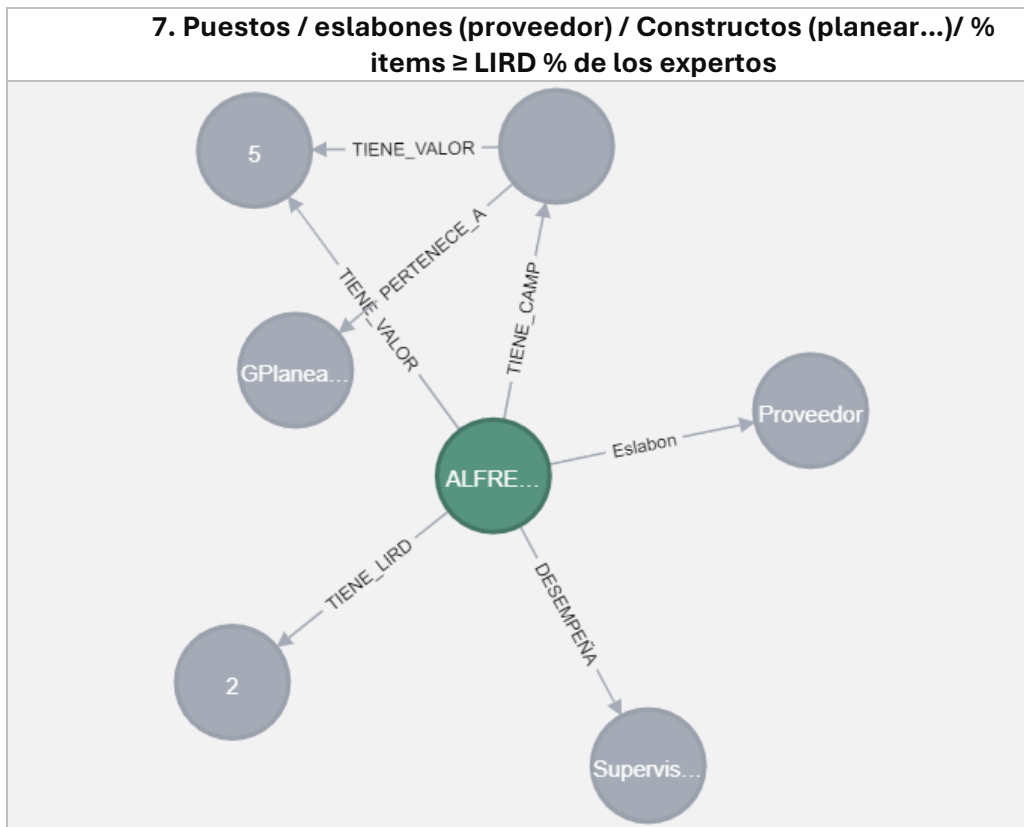


Figura 4.10 Resultado de consulta 7 de Neo4j Browser. Fuente: Elaboración propia.

Consulta 9

Como parte del análisis, se presenta esta consulta donde se busca el puesto correspondiente a aquellos proveedores cuyo nivel de experiencia en ergonomía es mayor o igual al límite inferior del rango de diseño. Esta consulta filtra los proveedores que cumplen con este criterio, devolviendo los puestos relacionados.

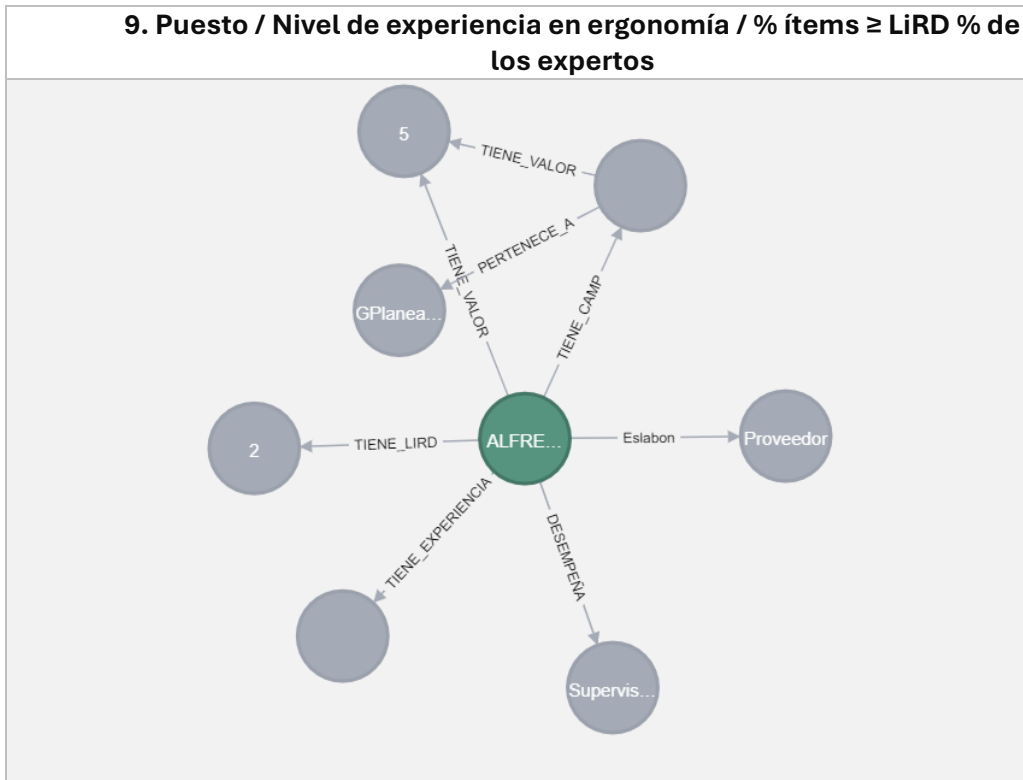


Figura 4.12 Resultado de consulta 9 de Neo4j Browser. Fuente: Elaboración propia.

4.4 Resultados del Clúster

A continuación, se presentan los resultados del proceso de clusterización realizado, cuyo objetivo fue agrupar los datos de manera estructurada para facilitar su análisis dentro del contexto de la gestión de la ergonomía. Para ello, el especialista del dominio seleccionó los datos más relevantes, aquellos que considera esenciales para evaluar la eficiencia y el impacto de las estrategias ergonómicas implementadas en la organización.

El análisis se llevó a cabo utilizando el algoritmo K-Means en Neo4j, una técnica ampliamente utilizada para la segmentación de datos basada en similitudes. Este enfoque permitió identificar patrones en la información, agrupando elementos con características comunes dentro de distintos clústeres. La elección de K-Means se debió a su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos y ofrecer una visualización clara de las relaciones y tendencias existentes.

En la siguiente ilustración se presenta el resultado del proceso de clusterización, en el cual los evaluados fueron agrupados en función de su relación con los objetivos de ergonomía actualizados y documentados. Este proceso permitió identificar patrones y similitudes entre los datos, facilitando una mejor comprensión de cómo los diferentes evaluados responden a los criterios ergonómicos establecidos. Además, el análisis de los clústeres proporciona una base sólida para futuras evaluaciones, permitiendo comparar la evolución de los grupos en el tiempo y optimizar la implementación de medidas correctivas. En este sentido, la visualización de los resultados mediante grafos en Neo4j facilita la interpretación de los datos, haciendo que los patrones sean más evidentes y accesibles para los especialistas del dominio.

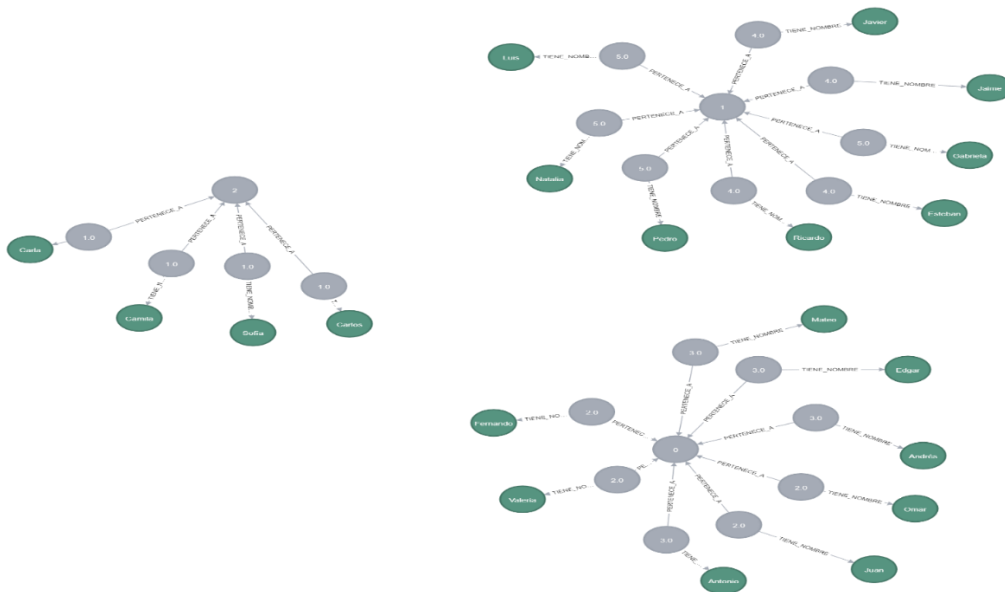


Figura 4.13 Resultado de Clúster. Fuente: Elaboración propia.

V. Conclusiones y trabajos futuros

En este capítulo se presentarán las conclusiones del proyecto sobre el análisis del Índice de Gestión de la Ergonomía en las Cadenas de Suministro, destacando cómo se utilizaron los grafos de conocimiento para analizar los datos recopilados. Se detallará el cumplimiento de los objetivos planteados, evaluando los logros alcanzados y las limitaciones encontradas en la recopilación de los datos para su análisis dentro del dominio.

Además, se proporcionarán recomendaciones específicas para futuras investigaciones y desarrollos en la materia. Estas sugerencias estarán enfocadas en mejorar el análisis y recopilación de los datos, así como en la exploración de nuevas aplicaciones para optimizar la toma de decisiones en entornos laborales complejos.

5.1 Conclusión del proyecto

la implementación de la metodología KMoS-SSA en armonía con la aplicación de la metodología de sistemas blandos ha resultado ser una herramienta eficaz para abordar problemáticas dentro de los DCEI, proporcionando un análisis detallado de los dominios de aplicación, las interacciones entre los actores, evaluadores, especialistas del dominio, analistas del dominio y los procesos de toma de decisiones han sido de gran utilidad. Gracias a este enfoque, ha sido posible identificar estrategias óptimas de solución, permitiendo una mayor comprensión de los sistemas estudiados y facilitando la estructuración de respuestas más eficientes. Su aplicación en distintos escenarios ha demostrado su potencial, particularmente en la capacidad de ayudar a usuarios no especializados a detectar áreas de mejora y desarrollar soluciones innovadoras.

Los resultados obtenidos abren nuevas perspectivas de investigación, ya que los procesos analizados y los actores involucrados constituyen una base sólida para la creación de herramientas tecnológicas avanzadas. Estas pueden incluir desde plataformas en la nube hasta sistemas de cómputo cognitivo, enfocadas en mejorar la toma de decisiones en entornos cambiantes y de alta complejidad. En el caso específico del índice de gestión de la ergonomía en las cadenas de suministro, el reto central radica en equilibrar la salud y seguridad de los trabajadores con la eficiencia y competitividad empresarial. A partir de la metodología KMoS-SSA y la metodología de sistemas blandos, se ha planteado el uso de grafos de conocimiento como un medio para analizar y estructurar la información obtenida a través de encuestas dirigidas a empleados, expertos y mandos medios y superiores.

Para fortalecer esta aproximación al entendimiento del dominio y la elicitación del conocimiento, se ha utilizado la metodología de sistemas blandos donde se aplica el: PQR, CATWOE, LEL, MC y el Modelo Metas Estratégicas, las cuales permiten detectar patrones y conceptos clave en el estudio del índice de gestión de la ergonomía. No obstante, se ha identificado un desafío crítico en la dependencia de información basada en la percepción subjetiva de los trabajadores, en lugar de contar con datos objetivos obtenidos a través de tecnologías como sensores o herramientas biomecánicas. Esta limitante evidencia la necesidad de incorporar fuentes de información más precisas y cuantificables, lo que facilitaría una transición progresiva hacia un modelo más alineado con los principios de Industria 5.0.

5.2 Trabajos futuros

La integración de tecnologías emergentes en el análisis del índice de gestión de la ergonomía de las cadenas de suministro no solo contribuirá a la seguridad y bienestar de los trabajadores, sino que también impulsará una mayor eficiencia operativa y sostenibilidad empresarial. En este sentido, la evolución del estudio ergonómico debe incorporar enfoques híbridos que combinen la experiencia humana con modelos de inteligencia artificial y análisis de datos en tiempo real, permitiendo a las organizaciones anticiparse y responder de manera proactiva a los desafíos ergonómicos del futuro.

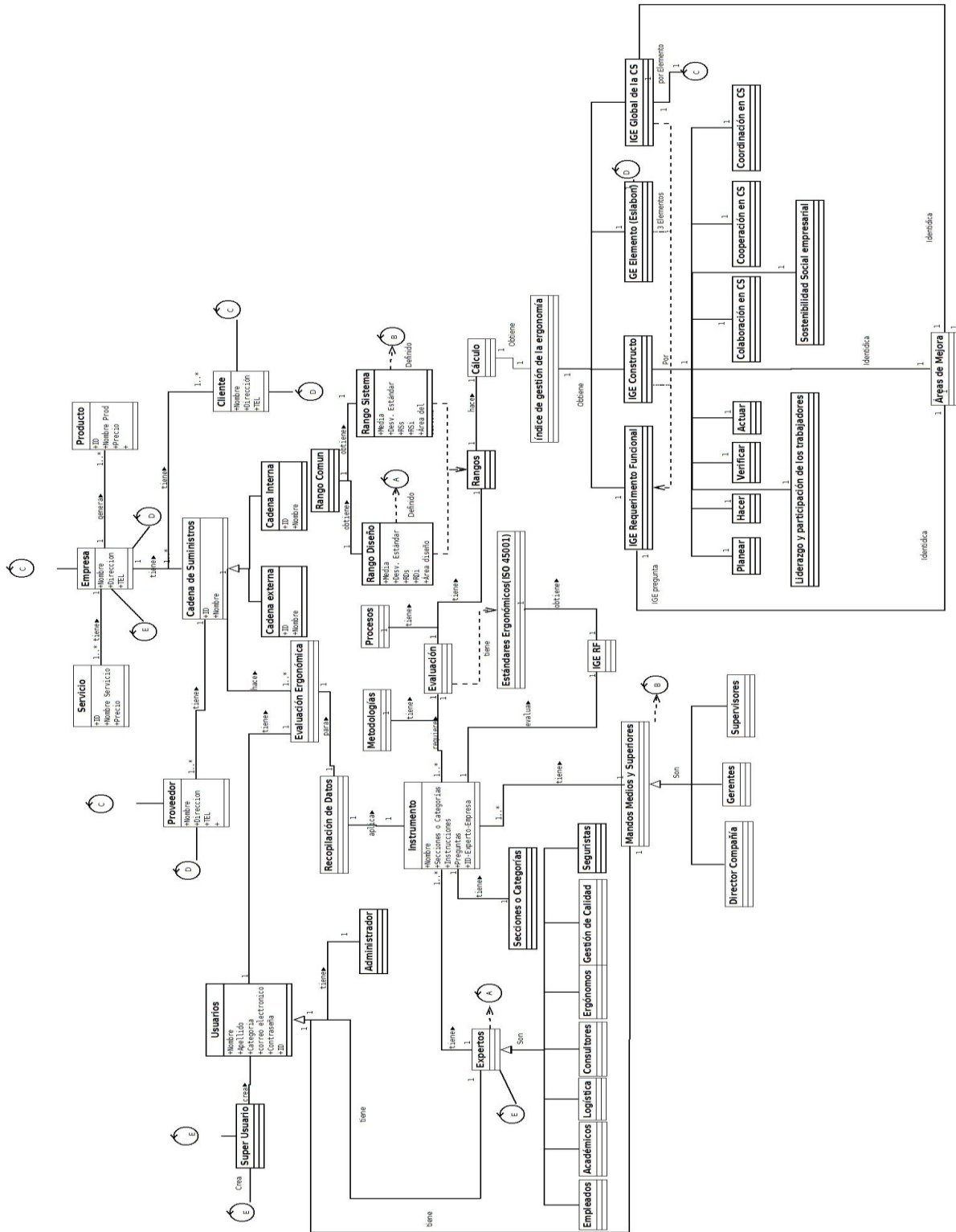
En este sentido, se prevé un futuro en el que las metodologías de análisis ergonómico evolucionen constantemente, incorporando modelos predictivos y soluciones adaptativas que sigan el ritmo de los avances tecnológicos y las transformaciones en el entorno de trabajo. El desarrollo de estos sistemas avanzados, basados en la integración de la inteligencia artificial y los grafos de conocimiento, permitirá una mejora continua en la gestión de la ergonomía, con el objetivo de garantizar un entorno laboral más seguro, eficiente y sostenible para la empresa.

Anexos

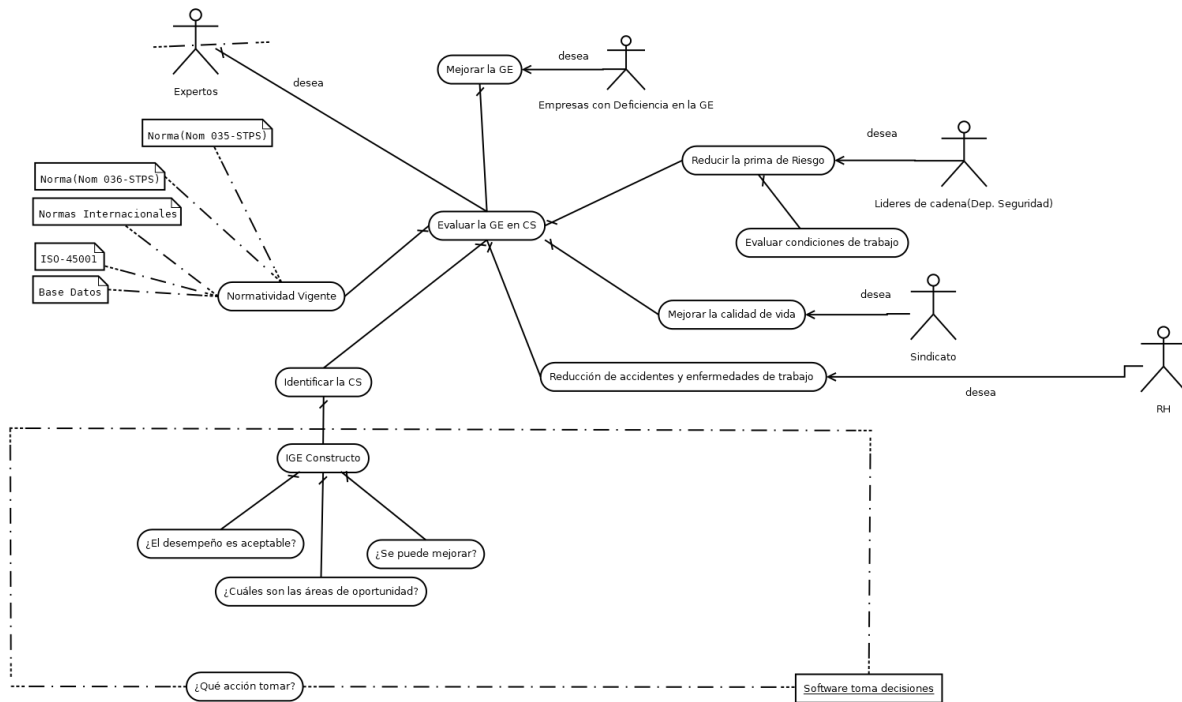
Anexo I - LEL sobre el índice de gestión de la ergonomía.

Nombre	Sinónimo	Acrónimo	Descripción
Cadena de suministro	Cadena logística, cadena de aprovisionamiento, red de suministro.	CS	También conocida como supply Chain, Es todo proceso que envuelve un producto desde la compra y fabricación de las materias primas hasta su resolución final
Ergonomía	Confortabilidad, adaptación humana	ERGO	Ciencia interdisciplinaria que estudia las relaciones que pasan entre el hombre y su puesto de trabajo y la optimización de tres elementos del sistema humano, maquina ambiente
evaluación ergonómica	Análisis ergonómico, revisión de ergonomía, evaluación del diseño centrado en el usuario	EErgo	Tiene como objetivo detectar el nivel de presencia, en puestos evaluados de factores de riesgo para la aparición en los trabajadores que los ocupan de problemas de salud de tipo disergonómico
evaluación de cadena de suministros	Análisis de la cadena de suministro, revisión logística, evaluación de la red de suministro	ECS	Son todos aquellos esfuerzos para monitorear, auditar y analizar de las condiciones en las que se encuentran dichos procesos lógicos
Gestión de Ergonomía	administración centrada en el usuario, dirección del diseño ergonómico	GE	la GE está definida como un sistema integrado por un conjunto de acciones (planear, hacer, verificar, actuar, liderazgo y participación de los trabajadores, colaboración, cooperación y coordinación con proveedores y clientes y sostenibilidad social empresarial) que se ejecutan en la organización para la implementación de la ergonomía en cualquier proceso productivo y/o de servicio a través de la CS
Sostenibilidad Social	Sostenibilidad comunitaria, responsabilidad social, equidad social y ambiental	SS	La sostenibilidad social es un proceso o marco que promueve el bienestar dentro de los propios miembros de una organización y al mismo tiempo apoya la capacidad de las generaciones futuras para mantener una comunidad saludable.
factores críticos de riesgo	Elementos clave de riesgo, aspectos críticos de la vulnerabilidad, factores determinantes de riesgo	FCR	Son derivados de la interacción de la persona en su ámbito laboral el cual se deriva de diferentes factores físicos, psicosociales, organizaciones de la empresa y factores ambientales
trastorno musculoesquelético	alteración musculoesquelética, problema musculoesquelético	TME	Lesiones específicas que afectan a huesos, articulaciones, músculos, tendones y nervios presentes en la actualidad con el problema de la salud laboral la cual afecta a millones de trabajadores.
ISO 45001:2018		ISO 45001	Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo — Requisitos y procesos con orientación para su uso, como base para el desarrollo del índice de gestión de ergonomía
factores de riesgo ergonómico	causas de riesgo ergonómico	FRE	Son los recorridos a las diferentes áreas con observación directa de los procedimientos de trabajo, iluminación, ventilación, ruido, vibraciones, condiciones térmicas, sustancias químicas, cargas de trabajo y mecanismo de ejecución de éste.
factores de riesgo físicos	Factores de peligro físico, causas de riesgo físico	FRF	Utilizar todos los medios de difusión -tales como exposición verbal, folletos, periódicos murales, trípticos, carteles, películas-, para proporcionar información en el consultorio aprovechando las visitas que haga el trabajador al servicio médico, cuando se practiquen exámenes médicos de ingreso, periódicos, de reingreso y otros.
factores de riesgo psicosociales	Factores de peligro psicosocial, causas de riesgo psicosocial,	FRP	la carga de trabajo excesiva o presión de tiempo, falta de claridad respecto a las funciones del trabajo, comunicación ineficaz, mala gestión de los cambios organizacionales, falta de apoyo por parte de la dirección o los compañeros de trabajo, agresión y violencia
Desde el contexto de la cadena de suministros definir proveedor empresa y clientes			
Proveedores	Suministradores		encargados de brindar bienes y servicios dentro de la cadena de suministro.
Distribución	Logística, transporte, reparto		encargados del transporte, tanto de la materia prima como de los productos terminados.
Fabricantes	Productores, manufactureros, fabricantes		encargados de transformar la materia prima en un producto final.
Clientes	Consumidores, usuarios, compradores		tanto el cliente final como los compradores mayoristas y minoristas.
auditoria	Revisión, inspección, evaluación		revisión de los procedimientos que se llevan en una empresa a nivel contable o laboral entre otros, para comprobar que se reúne una serie de requisitos establecidos
trabajador	Empleado, colaborador, operario		Es aquel individuo que se dedica a una determinada labor para la cual fue contratado a cambio de un sueldo o salario
industria 4.0	Fabricación inteligente, cuarta revolución industrial	I4.0	Es la actual revolución industrial, consiste en la digitalización de los procesos industriales por medio de la interacción de la inteligencia artificial con las máquinas y la optimización de recursos enfocada en la creación de efectivas metodologías comerciales. Esto implica cambios orientados a las infraestructuras inteligentes y a la digitalización de metodologías, este proceso incidirá de manera más concreta el modo de hacer negocios
transformación digital	Modernización digital, cambio digital, transición digital	TD	Es la integración de tecnología digital en todas las áreas de una empresa, cambiando fundamentalmente la forma en que opera y brinda valor a sus clientes.
Metodología de diseño axiomático	Enfoque axiomático de diseño, metodología de diseño basada en axiomas	MDA	Es una alternativa para enfrentar la actividad de diseño integral de producto y proceso, como un ejercicio racional y sistemática
Requerimiento del sistema	Especificación del sistema, criterios del sistema, necesidades del sistema		
Rango del sistema	Alcance del sistema, límites del sistema, dominio del sistema	RS	Rango de sistema es la solución que el diseño puede proporcionar para satisfacer los FRS.
Rango de diseño	Ámbito de diseño, alcance de diseño, límites de diseño	RD	el diseñador está intentando satisfacer y se utiliza la variación entre los datos de los DP. Rango de Diseño (DR), para los FR que el diseñador está intentando satisfacer
área común	espacio común, zona común	AR, RC	Una solución deseable corresponde a la regla traslapada entre el Rango de Diseño y el Rango de Sistema. La región de traslape se llama Rango Común.
requerimientos funcionales	requisitos funcionales	FRS	Requerimientos Funcionales" FRS, que conducen a identificar las especificaciones del diseño
NOM-035-STPS-2018			Factores de riesgo psicosocial en el trabajo-Identificación, análisis y prevención.
NOM-036-SSA2-2012			Prevención y control de enfermedades. Aplicación de vacunas, toxoides, faboterápicos (sueros) e inmunoglobulinas en el humano.
prácticas de colaboración	prácticas y colaboración de los trabajadores	PRC	
Requerimiento funcional	Índice de gestión de ergonomía para cada requerimiento funcional (ítems del instrumento)	IGERF	

Anexo II – Modelo Conceptual.



Anexo III – Modelo de Metas Estratégicas



Anexo IV – Modelo Ontológico en OWL

OWL

<pre> @prefix rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>. @prefix rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>. @prefix owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>. @prefix xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>. # Clase Entidad rdfs:type owl:Class. Empresa rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Entidad. Servicio rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Entidad. Producto rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Entidad. CadenaSuministro rdfs:type owl:Class. CadenaSuministro rdfs:type owl:Class. CadenaSuministro rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf CadenaSuministro. CadenaSuministro rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf CadenaSuministro. Cliente rdfs:type owl:Class. Proveedor rdfs:type owl:Class. EvaluacionErgonomia rdfs:type owl:Class. Usuario rdfs:type owl:Class. SuperUsuario rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Usuario. Admin rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Usuario. Experto rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Usuario. MandoMedioSuperior rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Usuario. Director rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf MandoMedioSuperior. Gerente rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf MandoMedioSuperior. Supervisor rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf MandoMedioSuperior. Empleado rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Experto. Academico rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Experto. Logistica rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Experto. Consultor rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Experto. Ergonomo rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Experto. GestorCaldad rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Experto. Seguridad rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Experto. Instrumento rdfs:type owl:Class. Metodologia rdfs:type owl:Class. # Instancias LaEmpresa rdfs:type Empresa; tieneNombre "MI Empresa". servicio rdfs:type Servicio; tieneNombre "Servicio". producto rdfs:type Producto; tieneNombre "Producto". cadenaErgonomica rdfs:type CadenaSuministro; tieneNombre "Cadena". cadenaExternalPrincipal rdfs:type CadenaSuministro; tieneNombre "Cadena Externa Principal". cadenaInternalProduccion rdfs:type CadenaSuministro; tieneNombre "Cadena Interna de Producción". cliente rdfs:type Cliente; tieneNombre "Cliente". proveedor rdfs:type Proveedor; tieneNombre "Proveedor". evaluacionErgonomica rdfs:type EvaluacionErgonomia; tieneNombre "Evaluación". usuario rdfs:type Usuario; tieneNombre "Usuario". superUsuario rdfs:type SuperUsuario; tieneNombre "Super Usuario". admin rdfs:type Admin; tieneNombre "Administrador". experto rdfs:type Experto; tieneNombre "Experto". emplado rdfs:type Empleado; tieneNombre "Empleada". academico rdfs:type Academico; tieneNombre "Académico". logisticaErgonomica rdfs:type Logistica; tieneNombre "Logística". consultor rdfs:type Consultor; tieneNombre "Consultor". ergonomia rdfs:type Ergonomia; tieneNombre "Ergonomia". gestorCaldadErgonomica rdfs:type GestorCaldad; tieneNombre "Gestión de Calidad". seguridadErgonomica rdfs:type Seguridad; tieneNombre "Seguridad". director rdfs:type Director; tieneNombre "Director". gerente rdfs:type Gerente; tieneNombre "Gerente". supervisor rdfs:type Supervisor; tieneNombre "Supervisor". Rango rdfs:type owl:Class. RangoDueno rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Rango. RangoSistema rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Rango. RangoSistema rdfs:type owl:Class; owl:intersectionOf (RangoDueno RangoSistema). IGEGlobalErgonomica rdfs:type IGEGlobal; tieneNombre "IGE Global Ergonomica". FuncionalErgonomico rdfs:type IGEFuncional; tieneNombre "Requerimiento Funcional". RequerimientoFuncionalErgonomico rdfs:type IGEFuncional; tieneNombre "Requerimiento Funcional Ergonomico". ElementoErgonomico rdfs:type GEEElemento; tieneNombre "Elemento Ergonomico". # Empresa tieneNombre rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain Empresa; rdfs:range xsd:string. direccion rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain Empresa; rdfs:range xsd:string. telefono rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain Empresa; rdfs:range xsd:string. # Producto IDProducto rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain producto; rdfs:range xsd:string. # NumberProduct rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain producto; rdfs:range xsd:string. PrecioProducto rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain producto; rdfs:range xsd:string. # Servicio IDServicio rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain servicio; rdfs:range xsd:string. # NumberServicio rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain servicio; rdfs:range xsd:string. # Cadena de Suministro IDCS rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain CadenaSuministro; rdfs:range xsd:string. # Proveedor IDProveedor rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain Proveedor; rdfs:range xsd:string. # Cliente IDCliente rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain Cliente; rdfs:range xsd:string. # Usuario IDUsuario rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain Usuario; rdfs:range xsd:string. # Instrumento IDInstrumento rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain Instrumento; rdfs:range xsd:string. # RangoDueno IDRD rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain RangoDueno; rdfs:range xsd:string. # RangoSistema IDRS rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain RangoSistema; rdfs:range xsd:string. # RangoComun IDRC rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain RangoComun; rdfs:range xsd:string. # RangoGlobal IDGlobal rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain IGEGlobal; rdfs:range xsd:string. # RangoFuncional IDRF rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain IGEFuncional; rdfs:range xsd:string. # RangoRequerimientoFuncional IDRRF rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain IGERequerimientoFuncional; rdfs:range xsd:string. # RangoElemento IDRE rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain GEEElemento; rdfs:range xsd:string. </pre>	<pre> # Clase Entidad rdfs:type owl:Class. Empresa rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Entidad. Servicio rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Entidad. Producto rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Entidad. CadenaSuministro rdfs:type owl:Class. CadenaSuministro rdfs:type owl:Class. CadenaSuministro rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf CadenaSuministro. CadenaSuministro rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf CadenaSuministro. Cliente rdfs:type owl:Class. Proveedor rdfs:type owl:Class. EvaluacionErgonomia rdfs:type owl:Class. Usuario rdfs:type owl:Class. SuperUsuario rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Usuario. Admin rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Usuario. Experto rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Usuario. MandoMedioSuperior rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Usuario. Director rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf MandoMedioSuperior. Gerente rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf MandoMedioSuperior. Supervisor rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf MandoMedioSuperior. Empleado rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Experto. Academico rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Experto. Logistica rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Experto. Consultor rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Experto. Ergonomo rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Experto. GestorCaldad rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Experto. Seguridad rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Experto. Instrumento rdfs:type owl:Class. Metodologia rdfs:type owl:Class. # Instancias LaEmpresa rdfs:type Empresa; tieneNombre "MI Empresa". servicio rdfs:type Servicio; tieneNombre "Servicio". producto rdfs:type Producto; tieneNombre "Producto". cadenaErgonomica rdfs:type CadenaSuministro; tieneNombre "Cadena". cadenaExternalPrincipal rdfs:type CadenaSuministro; tieneNombre "Cadena Externa Principal". cadenaInternalProduccion rdfs:type CadenaSuministro; tieneNombre "Cadena Interna de Producción". cliente rdfs:type Cliente; tieneNombre "Cliente". proveedor rdfs:type Proveedor; tieneNombre "Proveedor". evaluacionErgonomica rdfs:type EvaluacionErgonomia; tieneNombre "Evaluación". usuario rdfs:type Usuario; tieneNombre "Usuario". superUsuario rdfs:type SuperUsuario; tieneNombre "Super Usuario". admin rdfs:type Admin; tieneNombre "Administrador". experto rdfs:type Experto; tieneNombre "Experto". emplado rdfs:type Empleado; tieneNombre "Empleada". academico rdfs:type Academico; tieneNombre "Académico". logisticaErgonomica rdfs:type Logistica; tieneNombre "Logística". consultor rdfs:type Consultor; tieneNombre "Consultor". ergonomia rdfs:type Ergonomia; tieneNombre "Ergonomia". gestorCaldadErgonomica rdfs:type GestorCaldad; tieneNombre "Gestión de Calidad". seguridadErgonomica rdfs:type Seguridad; tieneNombre "Seguridad". director rdfs:type Director; tieneNombre "Director". gerente rdfs:type Gerente; tieneNombre "Gerente". supervisor rdfs:type Supervisor; tieneNombre "Supervisor". Rango rdfs:type owl:Class. RangoDueno rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Rango. RangoSistema rdfs:type owl:Class; rdfs:subClassOf Rango. RangoSistema rdfs:type owl:Class; owl:intersectionOf (RangoDueno RangoSistema). IGEGlobalErgonomica rdfs:type IGEGlobal; tieneNombre "IGE Global Ergonomica". FuncionalErgonomico rdfs:type IGEFuncional; tieneNombre "Requerimiento Funcional". RequerimientoFuncionalErgonomico rdfs:type IGEFuncional; tieneNombre "Requerimiento Funcional Ergonomico". ElementoErgonomico rdfs:type GEEElemento; tieneNombre "Elemento Ergonomico". # Empresa tieneNombre rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain Empresa; rdfs:range xsd:string. direccion rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain Empresa; rdfs:range xsd:string. telefono rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain Empresa; rdfs:range xsd:string. # Producto IDProducto rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain producto; rdfs:range xsd:string. # NumberProduct rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain producto; rdfs:range xsd:string. PrecioProducto rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain producto; rdfs:range xsd:string. # Servicio IDServicio rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain servicio; rdfs:range xsd:string. # NumberServicio rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain servicio; rdfs:range xsd:string. # Cadena de Suministro IDCS rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain CadenaSuministro; rdfs:range xsd:string. # Proveedor IDProveedor rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain Proveedor; rdfs:range xsd:string. # Cliente IDCliente rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain Cliente; rdfs:range xsd:string. # Usuario IDUsuario rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain Usuario; rdfs:range xsd:string. # Instrumento IDInstrumento rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain Instrumento; rdfs:range xsd:string. # RangoDueno IDRD rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain RangoDueno; rdfs:range xsd:string. # RangoSistema IDRS rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain RangoSistema; rdfs:range xsd:string. # RangoComun IDRC rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain RangoComun; rdfs:range xsd:string. # RangoGlobal IDGlobal rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain IGEGlobal; rdfs:range xsd:string. # RangoFuncional IDRF rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain IGEFuncional; rdfs:range xsd:string. # RangoRequerimientoFuncional IDRRF rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain IGERequerimientoFuncional; rdfs:range xsd:string. # RangoElemento IDRE rdfs:type owl:DatatypeProperty; rdfs:domain GEEElemento; rdfs:range xsd:string. </pre>
---	---

Referencias

- Al-Moslmi, T., Gallofré Ocaña, M., Lothe Opdahl, A., & Veres, C. (2020). Named Entity Extraction for Knowledge Graphs: A Literature Overview. 32862 - 32881
DOI:10.1109/ACCESS.2020.2973928.
- ANGLES, R., ARENAS, M., BARCELÓ, P., HOGAN, A., REUTTER, J., & VRGOC, D. (2016). Foundations of Modern Query Languages for Graph Databases. DOI: 0000001.0000001.
- Bechhofer, S., Harmelen, F., Hendler, J., & Horrocks, I. (2004). OWL Web Ontology Language.
- Chaouni Benabdellah, A., Benghbrit, A., & Bouhaddou, I. (2018). *A survey of clustering algorithms for an industrial context*. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(69\)90591-9](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(69)90591-9).
- Chun, I., Laublet, P., & Stankovic, M. (2016). Knowledge Engineering and Knowledge Management: 20th International Conference, EKAW 2016, Bologna, Italy. Pages 416 - 431
https://doi.org/10.1007/978-3-319-49004-5_27.
- Delgado Fernández, T., Cárdenas, S., Lis, M., & Delgado Fernández, M. (2021). *Knowledge graphs to manage epidemiological information about COVID-19*. Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud: Epub 01 de febrero de 2022. Recuperado en 23 de marzo de 2025, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2307-21132021000400002&lng=es&tlng=en.
- Deng, J., Chen, C., Hauang, X., Chen, W., & Cheng, L. (2023). *Research on the construction of event logic knowledge graph of supply chain management*.
<https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.101921>.
- Gruber, T. (1993). A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. Appeared in Knowledge Acquisition, 5(2):199-220, 1993.
- Hadad, G., & Doorn, J. (2009). Explicitar Requisitos del Software usando Escenarios. *Departamento de Ingeniería e Investigaciones. Tecnológicas, UNLaM, Argentina*.
- Hogan, A., Blomqvist, E., Cochez, M., D'Amato, C., & Melo, G. (2021). Knowledge Graphs. vol. 54, p. 37 <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3447772>.
- Kanungo, T., Mount, D., Netanyahu, N., Piatko, C., & Silverman, R. (2002). An efficient k-means clustering algorithm: analysis and implementation. 881 - 892 DOI: 10.1109/TPAMI.2002.1017616.
- Kosasih, E., Margaroli, F., Gelli, S., Aziz, A., Wildgoose, N., & Brintrup, A. (2022). *Towards knowledge graph reasoning for supply chain risk management using graph neural networks*. Pages 5596-5612 <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2100841>.
- Lu, C., Laublet, M., & Stankovic, M. (2016). Travel attractions recommendation with knowledge graphs. *In Proc. of EKAW*, https://doi.org/10.1007/978-3-319-49004-5_27.
- Maldonado Macías, A. A., Balderrama Armendáriz, C. O., Jorge, P. E., & García Alcaraz, J. L. (2019). *DISEÑO AXIOMÁTICO: LIBRO DE FUNDAMENTOS Y APLICACIONES*. España: ISBN: 978-84-09-10076-7.
- MOSLMI, T., GALLOFRÉ OCAÑA, M., OPDAHL, A., & VERES, C. (2020). Named Entity Extraction for Knowledge A Literature Overview. *Department of Information Science and*

Media Studies, University of Bergen, 5007 Bergen, Norway,
DOI:10.1109/ACCESS.2020.2973928.

- Norma Oficial Mexicana NOM-035-STPS-2018:. (23 de 10 de 2018). *Factores de riesgo psicosocial en el trabajo - Identificación, análisis y prevención, Diario Oficial de la Federación.* (Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS)) Obtenido de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5541828&fecha=23/10/2018#gsc.tab=0
- Olmos, K., & Rodas, J. (2013). KMoS-RE: knowledge management on a strategy to requirements engineering. DOI 10.1007/s00766-013-0178-3.
- Olmos-Sánchez, K., & Rodas-Osollo, J. (2017). *Requirements Engineering Based on Knowledge Management: Theoretical Aspects and a Practical Proposal*, 765-791. <https://doi.org/10.1142/S0218194017500450>.
- Olmos-Sánchez, K., Rodas-Osollo, J., Fernández Martínez, L., & Morales Rocha, V. (2015). Requirements engineering. *Journal of Information*, 21-35.
- Olmos-Sánchez, K., Rodas-Osollo, J., Maldonado-Macías, A., & Jiménez-Galina, A. (2024). Harmonization of knowledge representation: Integrating systems thinking ideas with appropriate domain representation strategies. *Journal of Computación y Sistemas in New Trends in Artificial Intelligence and its Applications*, (In Press).
- Organización Internacional de Normalización (ISO) 45001:2018. (2018). - *Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo - Requisitos con orientación para su uso*. Obtenido de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:45001:ed-1:v1:es>
- P. SINAGA, K., & YANG, M.-S. (2020). Unsupervised K-Means Clustering Algorithm. 1-2 DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2988796.
- Pérez Palencia1, M. (2024). *Epistemolog-IA: la Confluencia de la Inteligencia Artificial y la Epistemología en el Desarrollo Científico Contemporáneo*. DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.13264.
- Pérez-Fuillerat, N., Solano-Ruiz, M., & Amezcua, M. (2017). Conocimiento tácito: características en la práctica enfermera. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2017.11.002>.
- Robinson, I., Webber, J., & Eifrem, E. (2015). *Graph Databases*. <http://oreilly.com/catalog/errata.csp?isbn=9781491930892> f.
- Rodríguez-Gámez, I. F., Maldonado-Macías, A. A., Lagarda-Leyva, E. A., Hernández-Arellano, J. L., Rodríguez, Y., & Naranjo-Flores, A. (2025). Ergonomics Management Evaluation Model for Supply Chain: An Axiomatic Design Approach. 17(12):5458. <https://doi.org/10.3390/su17125458>.
- Rodríguez-Gámez, I., Maldonado-Macías, A., & Naranjo Flores, A. (2024). Las mejores prácticas de colaboración en la cadena de suministro para la gestión de ergonomía. (In Press) DOI: <https://doi.org/10.20983/culcyt.2024.1.2e.3>.
- Salavati, S., & Mirijamdotter, A. (2017). Soft Systems Methodology and Cognitive Mapping. *A Linkage between the Initial Phases of SSM*, <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:43940781>.

- Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) NOM-036-1-STPS-2018:. (23 de 11 de 2018).
https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/7468/stps11_C/stps11_C.html. (Norma Oficial Mexicana, Factores de riesgo ergonómico en el trabajo - Identificación, análisis, prevención y control - Parte 1: Manejo manual de cargas, Diario Oficial de la Federación) Obtenido de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5270654&fecha=28/09/2012#gsc.tab=0
- Shyamsunder, S. (2023). Industry 4.0: A Comprehensive Review and Future Perspectives. 133-146
DOI:10.22214/ijraset.2023.55042.
- SINAGA, K., & YANG, M.-S. (2020). Unsupervised K-Means Clustering Algorithm. 80716 - 80727 DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2988796.
- Suh, N. (1998). Axiomatic Design Theory for Systems. Res Eng Des 10. 189–209
<https://doi.org/10.1007/s001639870001>.
- WILSON , B. (2001). Soft Systems Methodology Conceptual Model Building and its Contribution. Wiley ISBN0-471-89489-3.