



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**“Desarrollo del piloto de un Sistema de Detección Temprana
basado en Inteligencia Artificial para mejorar la
seguridad laboral: Implementación y evaluación de un sistema
inteligente que utilice técnicas de machine
learning para identificar patrones y señales de alerta temprana de
posibles situaciones de riesgo en el
ambiente laboral”**

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

MAGÍSTER EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

Presentada por:

**Luis Antonio Baque Soledispa
Ernesto Leonardo Varas Carvajal**

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2025

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a mi familia por su apoyo incondicional, a mis docentes por su guía y enseñanzas, y a mis compañeros de la SALA 6 por compartir esta experiencia de aprendizaje. Este logro no habría sido posible sin ustedes.

Ernesto Varas

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser mi guía y fortaleza en este camino. A mi familia, por su amor incondicional y motivación para seguir adelante. A mis compañeros de clases de la SALA 6 por el apoyo constante. Sin duda, han sido pilares esenciales que han impulsado la realización de este logro académico.

Luis Baque

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi familia, por ser mi mayor inspiración y soporte, a mis compañeros de la SALA 6 y a todos quienes han creído en mí, motivándome a alcanzar mis metas.

Ernesto Varas

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis hijos, Benji y Mare, cuya alegría, amor y compañía han sido mi mayor inspiración. A mi esposa. A mi madre. Cada esfuerzo en este camino ha estado motivado por todos ustedes, recordándome siempre la importancia de seguir adelante con determinación y esperanza.

Luis Baque

DECLARACIÓN EXPRESA

Nosotros Luis Antonio Baque Soledispa y Ernesto Leonardo Varas Carvajal acordamos y reconocemos que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. El o los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 20 de febrero del 2025.

Luis Antonio Baque Soledispa

Ernesto Leonardo Varas Carvajal

Evaluadores

Kleber Barcia V., Ph.D.

Profesor de Materia

Cristian Arias U., Ph.D.

Tutor de proyecto

RESUMEN

Este proyecto propone el desarrollo y validación de un sistema de detección temprana basado en inteligencia artificial (IA) y machine learning para mejorar la seguridad laboral en la línea de producción de blísteres, específicamente en la etapa de encartonado. Esta fase fue seleccionada debido a su alta incidencia de riesgos asociados a intervenciones manuales, como el atrapamiento de manos, que generan accidentes frecuentes en las operaciones.

El proyecto se enfoca en integrar dispositivos como cámaras y sensores de proximidad que recolecten datos en tiempo real sobre los movimientos de los operarios, el funcionamiento de las máquinas y los factores contextuales del entorno laboral. Estos datos serán procesados mediante algoritmos de machine learning diseñados para identificar patrones y emitir alertas tempranas que prevengan accidentes. La efectividad del sistema será validada a través de una prueba piloto, evaluando indicadores clave como la reducción de incidentes, mejoras en la eficiencia operativa y disminución de costos relacionados con riesgos laborales.

El alcance de la tesis está delimitado exclusivamente a la implementación del sistema en la etapa de encartonado, sin modificar físicamente las máquinas ni abarcar otras fases del proceso productivo. Además, el proyecto se concentra en el diseño y prueba del sistema en esta área específica, dejando para estudios futuros su aplicación a gran escala o en otras industrias.

Este trabajo busca contribuir significativamente a la seguridad laboral mediante la implementación de tecnología innovadora, demostrando que las soluciones basadas en IA pueden complementar los sistemas tradicionales de gestión de riesgos. Asimismo, ofrece una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones en otras áreas del sector industrial.

Palabras Clave: Inteligencia Artificial, Machine Learning

ÍNDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN.....	I
ÍNDICE GENERAL	II
ABREVIATURAS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
CAPÍTULO 1	
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Área de estudio	1
1.3. Presentación del problema.....	2
1.4. Justificación del problema	3
1.5. Alcance	4
1.6. Objetivos	5
1.6.1. Objetivo general	5
1.6.2. Objetivos específicos.....	5
CAPÍTULO 2	
2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Marco Conceptual	6
2.2. Inteligencia Artificial y Machine Learning.....	6
2.3. Seguridad laboral y análisis predictivo.....	9
2.4. Implementación de Sistemas Inteligentes en el Ámbito Industrial.....	9
2.5. Impacto en la Gestión de Seguridad y la Productividad.....	10
CAPÍTULO 3	
3. METODOLOGÍA.....	11
3.1. Enfoque, tipo y diseño de investigación.....	11
3.2. Población y Muestra.....	12
3.3. Instrumentos y técnicas de recopilación de datos.....	13
3.4. Procedimiento.	13
3.5. Análisis de datos	17

3.6.	Limitaciones.....	18
3.7.	Consideraciones éticas y legales.....	19
3.8.	Plan de acción.....	19
CAPÍTULO 4		
4.	RESULTADOS DE PRUEBA PILOTO	20
4.1	Resultados de la aplicación (barreras o factores de éxito durante la aplicación de la metodología)	20
4.2	Identificación de patrones de riesgo	20
4.3	Resultados por etapas del proceso	20
4.4	Análisis matemáticos de incidentes	22
CAPÍTULO 5		
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	23
5.1	Conclusiones.....	23
5.2	Recomendaciones.....	24
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ABREVIATURAS

CCTV	Circuito Cerrado de Televisión
IA	Inteligencia Artificial

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 3.1 Modelo de machine learning supervisado	12
Figura 3.2 Logo lenguaje de programación C Sharp	13
Figura 3.3 Líneas de programación del software	14
Figura 3.4 Operario en línea #7	15
Figura 3.5 Software de almacenamiento de información	17
Figura 4.1 Ejemplo software semáforo rojo.....	21
Figura 4.2 Ejemplo software semáforo verde	21
Figura 4.3 Diagrama de pastel de incidentes	22

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Programación de 3 meses.....	16
Tabla 2. Formato de registro de incidentes.....	17
Tabla 3. Registro de incidentes.....	18

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

La inteligencia artificial (IA) ha ocupado un lugar en nuestra sociedad y se ha establecido con fuerza y como una innovación tecnológica con mucho impacto. Al igual que en otros ámbitos, la IA ofrece oportunidades significativas para prevenir o mitigar riesgos en el ambiente laboral, esto la convierte en una herramienta sumamente valiosa para mejorar la seguridad y proteger a los trabajadores [_\(Aguilar, 2020\)](#) . Esta afirmación tiene el sustento en una serie de estudios que han demostrado el potencial de la IA para transformar la seguridad en el trabajo. Según un informe [_\(Das y otros, 2018\)](#), el uso de algoritmos de IA en entornos industriales ha demostrado reducir significativamente la incidencia de accidentes y lesiones laborales.

Investigaciones realizadas por [_\(Macías, 2022\)](#) han destacado el rol de la IA en la identificación proactiva de los riesgos laborales mediante el análisis de datos en tiempo real. Este enfoque preventivo permite a las empresas abordar los riesgos antes de que se conviertan en incidentes graves, y de esta forma se contribuye a lograr un entorno laboral más seguro y saludable para los trabajadores. Esta capacidad surge de la habilidad de la IA para analizar grandes volúmenes de datos, permitiendo a las empresas identificar y abordar riesgos laborales de manera más efectiva. Esto incluye la detección de situaciones peligrosas en tiempo real y la generación de alertas que facilitan la toma de decisiones sobre organización y procesos laborales [_\(Pishgar y otros, 2021\)](#). Además, una IA bien entrenada puede ser utilizada para proporcionar formación en seguridad a los trabajadores y simular situaciones de riesgo en entornos virtuales. Esta capacidad adicional de la IA ofrece una oportunidad para mejorar la conciencia y preparación de los trabajadores para enfrentar situaciones laborales riesgosas

1.2. Área de estudio

Este estudio se enmarca en el campo de la seguridad en el trabajo dentro del sector industrial, con énfasis en la utilización de herramientas tecnológicas basadas en inteligencia artificial para la gestión y prevención de riesgos laborales. La investigación aborda como problema principal la elevada incidencia de incidentes y accidentes laborales en procesos que requieren intervención manual, específicamente en el proceso de encartonado en una línea de producción de blísteres de pastillas. El objetivo como tal es implementar soluciones

innovadoras que reduzcan los riesgos asociados a estas tareas, que se incremente la eficiencia operativa y conseguir un entorno laboral más seguro.

El análisis se enfoca básicamente en el riesgo de atrapamiento y lesiones físicas causado por la proximidad de los operarios a la maquinaria encartonadora en funcionamiento durante el encartonado de los blísteres. Esta situación no solo afecta la seguridad de los trabajadores, sino también la calidad del producto, los costos operativos y la productividad general de la línea de producción. En este contexto, la inteligencia artificial emerge como una herramienta fundamental para identificar estas situaciones de riesgo de manera temprana y prevenir o disminuir los riesgos laborales.

La importancia de este tema radica en la necesidad de garantizar entornos laborales más seguros y eficientes en la industria objeto de este estudio, así como en otros sectores donde la interacción hombre-máquina es frecuente. La incorporación de inteligencia artificial permite anticipar riesgos y tomar decisiones preventivas basadas en los datos recopilados, disminuyendo significativamente la probabilidad de accidentes. Además, estas tecnologías tienen el potencial de optimizar los flujos de trabajo, mejorar la calidad del producto final y reducir los costos derivados de incidentes laborales y errores en la producción.

La investigación se orienta hacia la integración de algoritmos de aprendizaje automático con sistemas de visión computacional para analizar en tiempo real el comportamiento de los operarios cuando intervienen con las máquinas en sus procesos productivos. Este enfoque innovador busca desarrollar soluciones prácticas y escalables, adaptables a diversos entornos industriales, contribuyendo al avance en la gestión de la seguridad laboral y al aprovechamiento de tecnologías emergentes.

1.3. Presentación del problema

En la línea de producción de blísteres # 7 se ha identificado un problema crítico en la etapa de encartonado del producto. Actualmente, el proceso de encartonado requiere la intervención manual de dos operarios que trabajan en proximidad a la máquina encartonadora. Esta tarea manual no solo representa un riesgo significativo de atrapamiento de manos y lesiones físicas, sino que también afecta la eficiencia y la consistencia del proceso productivo, como se mencionó previamente.

El riesgo de atrapamiento aumenta debido a la necesidad constante de ajuste y manipulación de los blísteres y los cartones durante la operación. A pesar de las medidas de seguridad implementadas, la naturaleza manual de la tarea expone a los trabajadores a posibles accidentes laborales. La intervención manual en esta etapa del proceso puede resultar en variabilidad en la calidad del empaque, teniendo tiempos de producción inconsistentes, y mayores tasas de error y desperdicio. El problema principal es el riesgo significativo de atrapamiento de manos y lesiones físicas que se pueden tener durante la etapa de encartonado debido a la intervención manual.

A continuación, se presentan las causas y consecuencias del problema planteado.

Causas Principales

Necesidad de intervención manual en el proceso de encartonado

- Ajuste y manipulación constante de blísteres y cartones.
- Proximidad de los operarios a la maquinaria en funcionamiento.

Tiempos de producción inconsistentes

- Dependencia del ritmo de trabajo manual.
- Falta de estandarización en la operación manual.

Consecuencias Principales

Accidentes laborales

- Atrapamiento de manos.
- Otras lesiones físicas.

Incremento en costos

- Costos médicos y legales por accidentes.
- Pérdidas por errores y desperdicio.

Impacto en la calidad del producto

- Variabilidad en el empaque.
- Disminución de la satisfacción del cliente.

La implementación de soluciones de herramientas tecnológicas como machine learning e inteligencia artificial en la línea de producción de blísteres permite reducir el riesgo de accidentes laborales y mejorar la eficiencia del proceso. Mediante el uso de sistemas de visión, análisis predictivo de incidentes y un sistema de alertas, se puede crear un entorno de trabajo más seguro y productivo. Con estos avances tecnológicos desarrollados e implementados se minimizan los riesgos para los operarios, el flujo de trabajo también se optimiza, se reducen los costos, lo que se traduce en una mayor satisfacción del cliente.

1.4. Justificación del problema

El desarrollo de este piloto para la detección temprana basado en inteligencia artificial para mejorar la seguridad en el trabajo responde a la necesidad de reducir los riesgos laborales en ambientes donde la intervención manual predomina y, a menudo, está

asociada con accidentes y lesiones físicas. En la etapa de encartonado de la línea de producción de blísteres de esta industria farmacéutica, el riesgo de atrapamiento y otras lesiones constituye una preocupación crítica, no solo por sus consecuencias humanas, sino también por los impactos económicos y operativos que genera.

La inteligencia artificial específicamente a través del uso de técnicas como machine learning, ha demostrado un potencial significativo para prevenir incidentes mediante la identificación de patrones de riesgo y señales de alerta temprana. Este enfoque promete un entorno laboral más seguro, así mismo, mejora la eficiencia y calidad de los procesos productivos. La implementación de este sistema, con su capacidad para analizar datos en tiempo real y generar alertas proactivas, es una solución innovadora y sostenible que beneficia tanto a los trabajadores como a la empresa.

Este proyecto resulta significativo ya que combina los avances tecnológicos con las necesidades fundamentales de la industria, evidenciando cómo la tecnología puede emplearse para salvaguardar la vida y la integridad física de los trabajadores, mejorar la eficiencia de los procesos y asegurar el cumplimiento de las normativas en materia de seguridad laboral. Asimismo, se presenta como un modelo adaptable y aplicable a diferentes entornos industriales, fomentando el desarrollo de prácticas más seguras y efectivas en diversas actividades productivas.

1.5. Alcance

Este proyecto se enfoca específicamente en la etapa de encartonado del proceso productivo de blísteres de pastillas (línea # 7), debido a la alta incidencia de riesgos laborales asociados a la intervención manual de los operarios. La implementación del piloto se realiza exclusivamente en esta etapa, analizando los riesgos relacionados, como el atrapamiento de manos y otros incidentes frecuentes.

En cuanto a la recopilación y análisis de datos, se captura aquellos relacionados con la operación manual, movimientos de los operarios, funcionamiento de las máquinas, y factores contextuales como tiempos de operación, distancias de seguridad y patrones de repetición de tareas. El sistema es capaz de procesar información en tiempo real mediante la integración de dispositivos como videocámaras, sensores de proximidad y sistemas de visión artificial. A partir de esta información, se diseña e implementa algoritmos de machine learning que permiten identificar patrones y establecer señales de alerta temprana. Los modelos son ajustados para priorizar la detección de situaciones de riesgo, asegurando altos niveles de sensibilidad y especificidad.

La validación se centra en verificar que el sistema registre de manera efectiva las mediciones y datos de seguridad. Los indicadores de éxito incluyen la correcta generación de registros, la continuidad en la captura de datos y la disponibilidad de información para futuras evaluaciones de desempeño en la gestión de riesgos.

El análisis está circunscrito únicamente a la etapa de encartonado de los blísteres, sin extenderse a otras fases del proceso productivo. La implementación a gran escala o la evaluación del sistema en otras líneas de producción o industrias no se considera dentro del alcance de este trabajo.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema de detección temprana con inteligencia artificial para la mejora de la seguridad laboral, implementando y evaluando técnicas que identifiquen patrones y señales de alerta de posibles riesgos laborales.

1.6.2. Objetivos específicos

- Investigar las técnicas de machine learning más adecuadas para la detección temprana de riesgos laborales, considerando la naturaleza de las actividades y los datos disponibles en el ambiente laboral objetivo.
- Diseñar un sistema de recolección y procesamiento de datos que permita la captura de información relevante para el análisis predictivo de accidentes e incidentes en tiempo real, basado en la teoría de minería de datos.
- Desarrollar modelos de machine learning, como algoritmos de clasificación y regresión, para la identificación de patrones y señales de alerta de posibles situaciones de riesgo en base a los datos recopilados, considerando factores como la frecuencia de exposición, la gravedad potencial y otros indicadores de riesgo laboral.
- Implementar la prueba piloto en el área asignada para la validación del sistema de detección temprana de incidentes con el uso de machine learning e inteligencia artificial.
- Evaluar la eficacia y los resultados del piloto de detección temprana basado en inteligencia artificial a través de pruebas en el ambiente laboral objetivo, comparando los resultados obtenidos con los métodos tradicionales de gestión de riesgos y estableciendo métricas de desempeño como la sensibilidad, la especificidad y la tasa de falsos positivos/negativos

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco Conceptual

En esta sección, se definen los conceptos relevantes a desarrollar junto con la teoría de las metodologías a utilizar.

La integración de la inteligencia artificial en la gestión de la seguridad laboral supone la unión de disciplinas tecnológicas con prácticas industriales para enfrentar un desafío de gran relevancia. Este enfoque teórico examina los conceptos fundamentales, los antecedentes y las aplicaciones clave de la IA y el aprendizaje automático en los entornos de trabajo.

2.2. Inteligencia Artificial y Machine Learning

La inteligencia artificial es definida como la capacidad de las máquinas para realizar tareas que requieren inteligencia humana, como el aprendizaje, la toma de decisiones y la resolución de problemas [\(Russell & Norvig, 2020\)](#). Dentro de la IA, el machine learning es una rama que se enfoca en desarrollar algoritmos que permiten a los sistemas aprender y mejorar su desempeño a partir de datos [\(Goodfellow y otros, 2016\)](#).

El uso de machine learning en seguridad laboral permite identificar patrones en grandes volúmenes de datos y generar modelos predictivos que anticipen posibles incidentes. Estos modelos pueden ser entrenados para detectar condiciones inseguras, como proximidad peligrosa a maquinaria o acciones humanas que incrementen el riesgo de accidentes [\(Rybak & Hassall, 2025\)](#).

Tipos de machine learning

Los algoritmos de machine learning se dividen en cinco grandes categorías: aprendizaje supervisado, aprendizaje no supervisado, aprendizaje semi-supervisado, aprendizaje auto-supervisado y aprendizaje por refuerzo [\(China, 2023\)](#).

- Machine learning supervisado

El machine learning supervisado es un tipo de machine learning en el que el modelo se entrena con un conjunto de datos etiquetados (es decir, se conoce la variable objetivo o de resultado). Por ejemplo, si los científicos de datos estuvieran construyendo un modelo para la predicción de tornados, las variables de entrada podrían incluir la fecha, la ubicación, la

temperatura, los patrones de flujo del viento y más, y el output sería la actividad real de tornados registrada para esos días_(Bishop, 2006).

El aprendizaje supervisado se utiliza habitualmente para la evaluación de riesgos, el reconocimiento de imágenes, el análisis predictivo y la detección del fraude, y comprende varios tipos de algoritmos_(Goodfellow y otros, 2016).

Algoritmos de regresión: predicen valores de output identificando relaciones lineales entre valores reales o continuos (por ejemplo, temperatura, salario). Los algoritmos de regresión incluyen la regresión lineal, el bosque aleatorio y el gradient boosting o potenciación del gradiente, así como otros subtipos.

Algoritmos de clasificación: predicen variables de output categóricas (por ejemplo, "basura" o "no basura") etiquetando piezas de datos de entrada. Los algoritmos de clasificación incluyen, entre otros, la regresión logística, los vecinos más próximos y las máquinas de vectores de soporte_(Duda y otros, 2000).

Clasificadores Naïve Bayes: permiten tareas de clasificación para grandes conjuntos de datos. También forman parte de una familia de algoritmos de aprendizaje generativo que modelan la distribución de entrada de una clase o categoría determinada. Los algoritmos Naïve Bayes incluyen árboles de decisión, que en realidad pueden acomodar tanto algoritmos de regresión como de clasificación_(Russell & Norvig, 2020).

Redes neuronales: simulan el funcionamiento del cerebro humano, con un enorme número de nodos de procesamiento conectados que pueden facilitar procesos como la traducción de lenguaje natural, el reconocimiento de imágenes, el reconocimiento del habla y la creación de imágenes_(LeCun y otros, 2015).

Algoritmos de bosque aleatorio: predicen un valor o una categoría combinando los resultados de varios árboles de decisión_(Breiman, 2001).

- Machine learning no supervisado

Los algoritmos de aprendizaje no supervisado, como Apriori, los modelos de mezclas gaussianas (GMM) y el análisis de componentes principales (PCA), extraen conclusiones de conjuntos de datos no etiquetados, lo que facilita el análisis exploratorio de datos y permite el reconocimiento de patrones y el modelado predictivo_(Jain y otros, 1999).

El método de aprendizaje no supervisado más común es el análisis de conglomerados, que utiliza algoritmos de agrupación para categorizar los puntos de datos en función de la similitud de valores (como en la segmentación de clientes o la detección de anomalías). Los algoritmos de asociación permiten a los científicos de datos identificar asociaciones entre objetos de datos dentro de grandes bases de datos, facilitando la visualización de los datos y la reducción de la dimensionalidad_(Xu & Wunsch, 2005).

K-medias: asigna los puntos de datos en k grupos, donde los puntos de datos más cercanos a un centroide determinado se agrupan en la misma categoría y K representa los grupos en función de su tamaño y nivel de granularidad. La agrupación K-medias se utiliza habitualmente para la segmentación del mercado, la agrupación de documentos, la segmentación de imágenes y la compresión de imágenes [\(MacQueen, 1967\)](#).

Agrupación jerárquica: describe un conjunto de técnicas de agrupación, entre las que se incluyen la agrupación aglomerativa (en la que los puntos de datos se aíslan inicialmente en grupos y luego se fusionan de forma iterativa en función de la similitud hasta que queda un clúster) y la agrupación divisiva (en la que un único clúster de datos se divide en función de las diferencias entre los puntos de datos) [\(Murtagh & Legendre, 2014\)](#).

Agrupación probabilística—ayuda a resolver problemas de estimación de la densidad o de agrupación "suave" agrupando los puntos de datos en función de la probabilidad de que pertenezcan a una determinada distribución [\(Bishop, 2006\)](#).

Los modelos de machine learning no supervisados suelen estar detrás de los sistemas de recomendación del tipo "los clientes que adquirieron esto también compraron...".

- Machine learning autosupervisado

El aprendizaje autosupervisado permite a los modelos entrenarse con datos no etiquetados, en lugar de necesitar conjuntos masivos de datos anotados y/o etiquetados. Estos algoritmos, también llamados algoritmos de aprendizaje predictivo o de pretexto, aprenden una parte de la entrada a partir de otra, generando automáticamente etiquetas y transformando los problemas no supervisados en supervisados. Estos algoritmos son especialmente útiles para trabajos como la computer vision y el procesamiento de lenguaje natural, donde el volumen de datos de entrenamiento etiquetados necesarios para entrenar modelos puede ser excepcionalmente grande [\(Devlin y otros, 2018\)](#).

- Aprendizaje por refuerzo

El aprendizaje por refuerzo, también llamado aprendizaje por refuerzo a partir de la retroalimentación humana es un tipo de programación dinámica que entrena algoritmos mediante un sistema de recompensa y castigo. Para implementar el aprendizaje por refuerzo, un agente realiza acciones en un entorno específico para alcanzar un objetivo predeterminado. El agente es recompensado o penalizado por sus acciones en función de una métrica establecida (normalmente puntos), lo que anima al agente a continuar con las buenas prácticas y desechar las malas. Con la repetición, el agente aprende las mejores estrategias [\(Sutton & Barto, 2018\)](#).

Los algoritmos de aprendizaje por refuerzo son habituales en el desarrollo de videojuegos y se utilizan con frecuencia para enseñar a los robots a reproducir tareas humanas.

- Aprendizaje semisupervisado

El quinto tipo de técnica de machine learning ofrece una combinación entre el aprendizaje supervisado y el no supervisado.

Los algoritmos de aprendizaje semisupervisado se entrenan con un pequeño conjunto de datos etiquetados y un gran conjunto de datos sin etiquetar, de forma que los datos etiquetados guían el proceso de aprendizaje para el mayor conjunto de datos sin etiquetar. Un modelo de aprendizaje semisupervisado podría utilizar el aprendizaje no supervisado para identificar grupos de datos y, a continuación, utilizar el aprendizaje supervisado para etiquetar los grupos [\(Zhu & Goldberg, 2009\)](#).

Las redes generativas adversarias (herramientas de deep learning que genera datos no etiquetados entrenando dos redes neuronales) son un ejemplo de machine learning semisupervisado [\(Goodfellow y otros, 2016\)](#).

Independientemente de su tipo, los modelos de machine learning pueden extraer conocimientos de los datos empresariales, pero su vulnerabilidad a los sesgos humanos y de los datos hace que las prácticas de inteligencia artificial responsable sean un imperativo organizativo [\(Silberg & Manyika, 2019\)](#).

2.3. Seguridad laboral y análisis predictivo

La seguridad laboral ha evolucionado de un enfoque reactivo hacia uno preventivo, donde las tecnologías emergentes juegan un papel clave. Según [\(Macías, 2024\)](#), la integración de inteligencia artificial con sensores y sistemas de visión computacional permite monitorear entornos laborales en tiempo real, proporcionando alertas automáticas que reducen la ocurrencia de accidentes.

La minería de datos es fundamental en esta transición. Técnicas como la clasificación y la regresión son empleadas para procesar datos relacionados con la frecuencia de exposición a riesgos, la gravedad potencial de incidentes, y otras métricas relevantes. Esto permite identificar las áreas más críticas y priorizar acciones preventivas [\(Hoang & Ly, 2024\)](#).

2.4. Implementación de Sistemas Inteligentes en el Ámbito Industrial

Los sistemas inteligentes basados en inteligencia artificial se implementan mediante la integración de hardware, como sensores y cámaras, con software de análisis de datos. En un entorno laboral, estos sistemas no solo detectan riesgos en tiempo real, sino que también ofrecen la posibilidad de entrenar a los trabajadores mediante simulaciones de escenarios de riesgo.

Además, la validación de estos sistemas en pilotos específicos es crucial. Como señala [\(Hoang & Ly, 2024\)](#), los pilotos permiten evaluar métricas como sensibilidad, especificidad,

y tasas de falsos positivos/negativos, asegurando que el sistema sea efectivo antes de su despliegue a gran escala.

2.5. Impacto en la Gestión de Seguridad y la Productividad

La implementación de inteligencia artificial en seguridad laboral no solo mitiga riesgos, sino que también mejora la productividad al optimizar flujos de trabajo y reducir tiempos de inactividad relacionados con incidentes. Según un informe reciente, la inteligencia artificial aplicada en entornos industriales ha disminuido en un 40% las tasas de accidentes, generando beneficios tanto humanos como económicos [\(Jetha y otros, 2023\)](#).

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

3.1. Enfoque, tipo y diseño de investigación

El estudio que se utilizó es un enfoque cuantitativo-experimental, por lo que se evaluó implementación de una solución informática basada en la (IA) inteligencia artificial y machine learning con el fin de levantar información sobre el número de incidentes en una línea de producción de blísteres de empresa farmacéutica. Se prioriza la recopilación de datos como base fundamental para la identificación de riesgos laborales.

La integración de tecnologías avanzadas para el enfoque de la investigación se aprovecha de la capacidad de estas para analizar datos de forma eficaz y eficiente:

Machine Learning: Entrenamiento de algoritmos para identificar patrones de riesgos laborales. En la Figura 3.1, se puede ver el esquema del algoritmo planteado para este trabajo, en este caso, un modelo de machine learning supervisado.

Visión Artificial: uso de cámaras de seguridad para detectar los movimientos de los trabajadores en tiempo real.

Big Data: Procesamiento de grandes volúmenes de datos sobre producción y seguridad laboral.

Dado esto, el enfoque del proyecto de implementación combina un análisis profundo del problema de la empresa farmacéutica de blísteres al objetivo general que es *“desarrollar un sistema de detección temprana con inteligencia artificial para la mejora de la seguridad laboral, implementando y evaluando técnicas que identifiquen patrones y señales de alerta de posibles riesgos laborales”* (Macías, 2022).

El diseño de la investigación está orientado en la solución de los problemas prácticos en la línea de producción #7 de blísteres. Se divide en las siguientes fases, tomando en cuenta el esquema de metodología de investigación:

- **Análisis del problema:** Identificar el riesgo mediante observación directa, registros de incidentes, análisis de los incidentes y luego caracterizarlo de acuerdo al nivel de riesgo (atrapamiento) en la etapa de encartonado.
- **Diseño:** Desarrollar un sistema de inteligencia artificial utilizando cámaras de CCTV (hardware) y mediante algoritmos de machine learning (software) configurar la detección y prevención de los riesgos.
- **Diseño de algoritmos:** El diseño de algoritmos se enfoca en dos aspectos fundamentales. Primero, se elabora un algoritmo especializado en la identificación de riesgos laborales, capaz de detectar de manera inmediata condiciones o conductas inseguras dentro del entorno laboral. Segundo, se incorpora un sistema

de alertas que emite notificaciones tanto visuales como auditivas al identificar riesgos, además de contar con la capacidad de generar un informe que consolida los datos registrados para su almacenamiento interno y análisis futuro.

- Selección de Hardware y Software: En el marco del proyecto, se establece como prioridad la selección de hardware (cámara) y software (programa) que garantice el cumplimiento de los objetivos planteados. Para el componente de hardware, se opta por cámaras de alta resolución que permitan capturar con precisión las actividades desarrolladas en tiempo real. Esta cámara es fundamental para obtención de datos de calidad, indispensables para el análisis de riesgos.
- Prueba Piloto: Implementación del sistema en la sección #7 de la planta de producción de blísteres y realizar el monitoreo en un período determinado (3 meses conforme plan de implementación).
- Evaluación: Análisis de resultados mediante indicadores como accidentes y eficacia de alarmas.

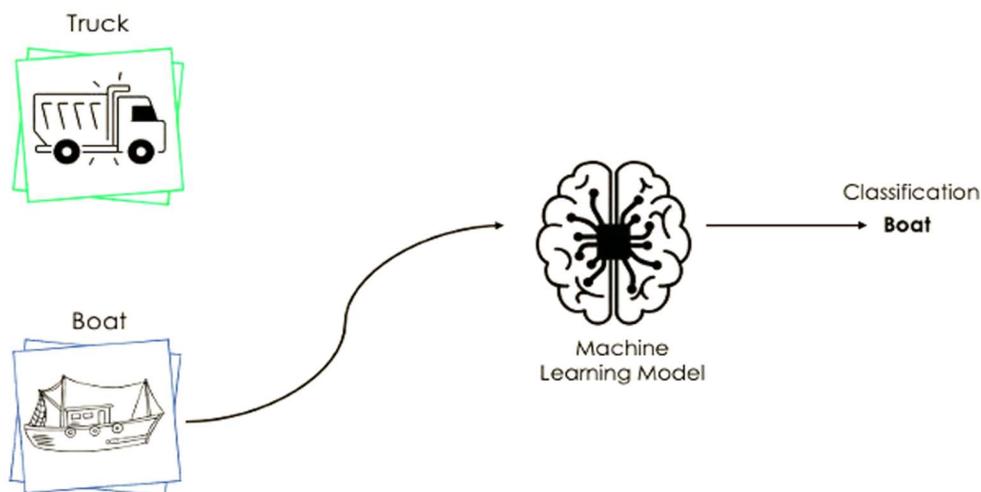


Figura 3.1 Modelo de machine learning supervisado

Fuente: <https://www.datacamp.com/blog/classification-machine-learning>

3.2. Población y Muestra

El análisis de riesgo en la línea de producción de blísteres requiere la definición de la cantidad de personas involucradas (16 en total) durante un periodo de 3 meses (ver Anexo A), así como el tamaño de la muestra para el estudio. Esto es necesario para garantizar que la data recolectada sea precisa y relevante, permitiendo evaluar de manera adecuada la efectividad de la solución basada en la inteligencia artificial [\(Jetha y otros, 2023\)](#).

3.3. Instrumentos y técnicas de recopilación de datos

Los datos que se necesitan para el desarrollo del proyecto se recopilan de las siguientes formas [\(World Health Organization, 2021\)](#):

1. Observación directa: Registro de las condiciones laborales actuales y los movimientos de los operativos de planta.
2. Cámaras de visión: Registra los movimientos del personal en tiempo real en la máquina encartonadora.
3. Encuestas y entrevistas: Preguntas a operativos de planta respecto a la percepción de riesgos asociados a su puesto de trabajo y las posibles mejoras de seguridad del sistema.
4. Registros de incidentes: Análisis de los incidentes dentro del área de producción específicamente en la línea de encartonado de blísteres.

3.4. Procedimiento

Para la implementación de la prueba piloto se lo realizó de la siguiente forma:

- Desarrollo del sistema de detección temprana con IA.

Codificación del sistema en el programa C (Sharp), Fig. 3.2, que es un lenguaje de programación de Microsoft, orientado a objetos y seguro, usado en aplicaciones de escritorio, web, móviles, etc, adaptado especialmente para detectar acciones peligrosas y movimientos inseguros en las operaciones de la línea de producción #7 (Fig. 3.3).



Figura 3.2 Logo lenguaje de programación C Sharp

Fuente: microsoft.com

```

public bool play = false;
public frmMonitor()
{
    InitializeComponent();
    this.lblSemaforo.BackColor = Color.Green;

    lvwReporte.FullRowSelect = true;
    lvwReporte.GridLines = true;
    lvwReporte.HeaderStyle = ColumnHeaderStyle.Nonclickable;
    lvwReporte.HideSelection = false;
    lvwReporte.LabelWrap = false;
    lvwReporte.MultiSelect = false;
    lvwReporte.View = View.Details;

    axWMP.CtlEnabled = false;
    axWMP.uiMode = "none";

    this.btnPlayPause.Enabled = false;
}

int sensor = 0;

private void btnReiniciar_Click(object sender, EventArgs e)
{
    string executableFilePath = Assembly.GetExecutingAssembly().Location;
    string executableDirectoryPath = Path.GetDirectoryName(executableFilePath);
    string audioFilePath = Path.Combine(executableDirectoryPath, Webapi_StreamingVideo);

    this.lvwReporte.Clear();
    this.lvwReporte.Columns.Add("Tiempo", 70, HorizontalAlignment.Left);
    this.lvwReporte.Columns.Add("Descripción", 210, HorizontalAlignment.Left);
    this.lvwReporte.Columns.Add("Riesgo", 140, HorizontalAlignment.Left);

    this.btnPlayPause.Enabled = true;
    this.play = true;

    axWMP.URL = audioFilePath;
    Thread.Sleep(3000);
    timerControlling.Enabled = true;
    sensor = 0;
    timerControlling.Start();
}

```

Figura 3.3 Líneas de programación del software

Fuente: Autor

- Selección e instalación del hardware.

Se seleccionaron cámaras y se las colocaron estratégicamente para cubrir las áreas críticas de la línea de producción #7. En la Fig. 3.4 se puede observar a un operario de la línea de producción siendo captado por la cámara para la captura de los datos.



Figura 3.4 Operario en línea #7

Fuente: Autor

- Prueba inicial del sistema.

Se realizaron ajustes en el software para que ayuden a la lectura de las acciones inseguras, así mismo sea “amigable al usuario”.

- Monitoreo de datos.

Se registraron las acciones inseguras en tiempo real por 3 meses desde agosto hasta octubre, los cuales se lograron obtener previamente con la planificación de producción de las muestras de la línea #7, se incluyeron los incidentes reportados y alertas generadas.

Durante un período de tres meses, de agosto a octubre, se llevó a cabo un registro en tiempo real de las acciones inseguras dentro del proceso productivo en la línea sujeta a análisis. Este seguimiento se realizó de manera estructurada gracias a la planificación previa de producción de las muestras, lo que permitió una recopilación sistemática de datos importantes.

El análisis incluyó no solo las acciones inseguras observadas, sino también los incidentes reportados y las alertas generadas dentro del área de producción.

A continuación, en la Tabla 1, se presenta la planificación de producción de la línea #7 para los tres meses analizados. Cada mes se planificó la producción de 330

unidades por producto, manteniendo una programación constante para garantizar la disponibilidad del inventario y cumplir con la demanda establecida.

Este registro detallado sirvió como base para correlacionar los incidentes reportados con los períodos de mayor actividad, permitiendo una mejor evaluación de los riesgos operacionales y la formulación de estrategias para minimizar acciones inseguras dentro de la planta.

Tabla 1
Programación 3 meses

MES	CATEGORÍA	NOMBRE	PLANIFICACIÓN
Agosto	Digestivos	Astor 20mg	330
Agosto	Digestivos	Clodopan 10mg	330
Agosto	Digestivos	Digestotal 30mg	330
Agosto	Analgesico	Tensorelax	330
Agosto	Respiratorios	Asmichem 10mg	330
Septiembre	Digestivos	Astor 20mg	330
Septiembre	Digestivos	Clodopan 10mg	330
Septiembre	Digestivos	Digestotal 30mg	330
Septiembre	Analgesico	Tensorelax	330
Septiembre	Respiratorios	Asmichem 10mg	330
Octubre	Digestivos	Astor 20mg	330
Octubre	Digestivos	Clodopan 10mg	330
Octubre	Digestivos	Digestotal 30mg	330
Octubre	Analgesico	Tensorelax	330
Octubre	Respiratorios	Asmichem 10mg	330

Fuente: Autor

- Extracción y almacenamiento de datos.

El software genera un registro de todos los eventos generados en la jornada laboral, al final del día se exportaban los datos a una hoja de cálculo (Excel) para ser revisados y analizados. Se puede ver en la Fig. 3.5 una imagen de la pantalla de monitoreo del software, del lado izquierdo se presenta lo que la cámara está captando en tiempo real y en el lado derecho los registros de las novedades suscitadas, con la semaforización según sea el caso.

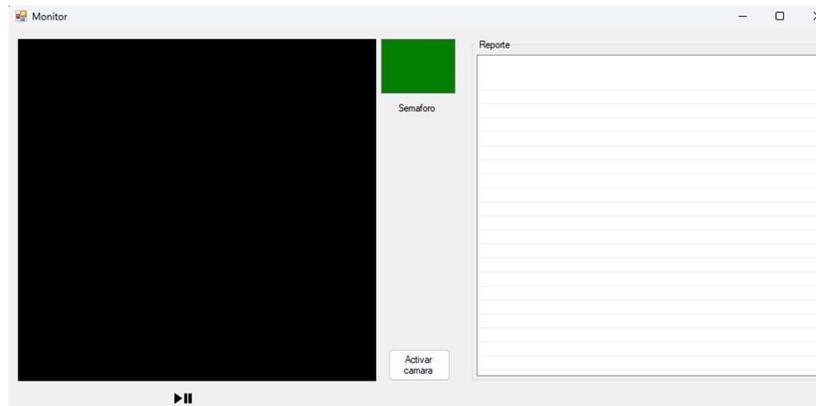


Figura 3.5 Software de almacenamiento de información

Fuente: Autor

3.5. Análisis de datos

Los datos recopilados se llevaron a cabo bajo las siguientes etapas:

- **Procesamiento de datos:** Registro de incidentes y las alertas generadas fueron organizados por el tipo de riesgo y su clasificación. La Tabla 2, que se presenta a continuación, es el formato definido para el procesamiento de los datos.

Tabla 2

Formato de registro de incidentes

Tiempo	Descripción	Riesgo	Fecha

Fuente: Autor

- **Indicadores claves:** Se analiza el nivel de satisfacción de los colaboradores basados en la encuesta (Ver Anexo B) posterior a la prueba piloto (Ver Anexo C).
- **Estadístico:** Se realizó un análisis detallado de los datos obtenidos, permitiendo identificar los riesgos más significativos dentro de las operaciones. A través de este estudio, se determinó que el riesgo con mayor incidencia fue el de atrapamiento, derivado de movimientos de manos no programados en la línea de producción.

- Informe final: La información consolidada se exportó a un archivo Excel para su posterior análisis por parte de las gerencias. Esto facilita la toma de decisiones estratégicas y la implementación de medidas correctivas orientadas a mejorar las condiciones en el área de trabajo. En la Tabla 3, se presenta el registro de incidentes documentados durante el período analizado:

Tabla 3
Registro de incidentes

Tiempo	Descripción	Riesgo	Fecha
08:14:00	movimiento de manos no programado	atrapamiento	martes, 1 de agosto de 2023
08:15:00	movimiento de manos no programado	atrapamiento	martes, 1 de agosto de 2023
08:16:00	movimiento de manos no programado	atrapamiento	martes, 1 de agosto de 2023
09:23:00	movimiento de manos no programado	atrapamiento	martes, 1 de agosto de 2023
09:24:00	movimiento de manos no programado	atrapamiento	martes, 1 de agosto de 2023
09:25:00	movimiento de manos no programado	atrapamiento	martes, 1 de agosto de 2023
09:26:00	movimiento de manos no programado	atrapamiento	martes, 1 de agosto de 2023
10:19:00	movimiento de manos no programado	atrapamiento	martes, 1 de agosto de 2023
10:20:00	movimiento de manos no programado	atrapamiento	martes, 1 de agosto de 2023
10:21:00	movimiento de manos no programado	atrapamiento	martes, 1 de agosto de 2023
11:17:00	movimiento de manos no programado	atrapamiento	martes, 1 de agosto de 2023
11:18:00	movimiento de manos no programado	atrapamiento	martes, 1 de agosto de 2023
11:19:00	movimiento de manos no programado	atrapamiento	martes, 1 de agosto de 2023
11:20:00	movimiento de manos no programado	atrapamiento	martes, 1 de agosto de 2023
09:32:00	movimiento de manos no programado	atrapamiento	martes, 1 de agosto de 2023
08:51:00	movimiento de manos no programado	atrapamiento	miércoles, 2 de agosto de 2023
08:51:00	movimiento de manos no programado	atrapamiento	miércoles, 2 de agosto de 2023

Fuente: Autor

3.6. Limitaciones

En la implementación del sistema basado en IA (inteligencia artificial), puede enfrentar ciertas limitaciones que deben considerarse al momento de revisar los resultados y en la planificación en diferentes líneas de producción, las limitaciones que podemos encontrar son:

- Recopilación de datos innecesarios: para los modelos machine learning, puede haber cierta imprecisión e inconsistencia en los mismos.

- Dificultades técnicas: integridad de los sistemas de computación con el software.
- Falta de integración de los colaboradores antiguos: que podrían recibir la tecnología como un desafío debido a su forma de trabajo.
- Falla en el suministro eléctrico: podrían limitar la capacidad operativa del sistema y no sería de forma continua [\(World Health Organization, 2010\)](#).

3.7. Consideraciones éticas y legales

Se implementaron medidas para garantizar la privacidad de los datos capturados y cumplir con las normativas legales aplicables en materia de seguridad industrial y laboral. Se aplica básicamente el Art. 7 de la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales, el tratamiento será legítimo y lícito si el uso será para proteger intereses vitales del interesado o de otra persona natural, como su vida, salud o integridad.

3.8. Plan de acción

Se estableció un cronograma detallado que incluyó actividades y plazos para cada etapa del desarrollo e implementación del sistema, la prueba piloto como tal tuvo una duración de tres meses (agosto, septiembre y octubre) Ver Anexo A. Adicionalmente, este plan fue monitoreado periódicamente para asegurar su cumplimiento y realizar ajustes cuando fue necesario hacerlo de acuerdo a la planificación de los 3 meses. Ver Anexo D (formato de producción).

Con la metodología, se buscó desarrollar una herramienta innovadora que permitiera mejorar la seguridad laboral en la línea de producción definida, alineándose con los objetivos planteados y contribuyendo al avance tecnológico en la gestión de riesgos laborales.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS DE PRUEBA PILOTO

4.1 Resultados de la aplicación (barreras o factores de éxito durante la aplicación de la metodología)

La implementación del software permitió recopilar y analizar los datos de manera ordenada sin la necesidad de tener un supervisor o jefatura a lado del colaborador, marcando una diferencia significativa con respecto a las supervisiones anteriores, donde no existían métodos claros ni herramientas específicas para corroborar la información o realizar un seguimiento de los incidentes. Este avance ha transformado los procesos hacia una gestión más estructurada y alineada con los objetivos de la empresa.

4.2 Identificación de patrones de riesgo

Uno de los hallazgos más relevantes es que la mayoría de los incidentes registrados están relacionados con riesgos de atrapamiento (681 casos), seguidos por distracción con riesgo de atrapamiento (33 casos) y golpes (6 casos) en la línea de producción #7 de la empresa farmacéutica de blísteres. Este análisis demuestra que los riesgos mecánicos representan la mayor preocupación en las operaciones actuales, lo que orienta la atención hacia intervenciones específicas en estas áreas.

4.3 Resultados por etapas del proceso

Anteriormente, la falta de herramientas digitales limitaba la capacidad de registrar y analizar incidentes. Con el software implementado, ahora es posible identificar las horas, fechas, y condiciones específicas en las que ocurren los eventos, lo que facilita la planificación de medidas preventivas.

El análisis paso a paso ha permitido comprender mejor las dinámicas en cada fase:

- **Detección:** El sistema ha identificado movimientos no programados y peligrosos en tiempo real.
- **Registro:** Cada incidente ahora se documenta de manera detallada, incluyendo descripción, riesgo, fecha, y hora (horario laboral de 08:00 a 12:00) y en base a esto se determina la cantidad de incidentes en una jornada de trabajo.
- **Análisis:** La categorización por tipo de riesgo y el número total de incidentes han proporcionado una visión clara de los puntos críticos.
- **Toma de decisiones:** Esta información se utiliza para priorizar áreas de intervención y optimizar los recursos disponibles.

Las Fig. 4.1 y 4.2, muestran el software funcionando en tiempo real detallando las situaciones de conformidad (verde) y de alerta (rojo) por los movimientos que implican un mayor riesgo para el operario.

The screenshot shows a software interface titled "Monitor". On the left, there is a video feed of a worker in a blue protective suit and mask operating a machine. To the right of the video is a red square labeled "Semáforo". Below the video is a play/pause button and a button labeled "Activar cámara". On the right side, there is a "Reporte" table with three columns: "Tiempo", "Descripción", and "Riesgo".

Tiempo	Descripción	Riesgo
00:03	movimiento de manos no programado	atrapamiento
00:04	movimiento de manos no programado	atrapamiento
00:08	movimiento de manos no programado	atrapamiento
00:18	movimiento de manos no programado	atrapamiento
00:48	movimiento de manos no programado	atrapamiento
01:02	movimiento de manos no programado	atrapamiento
01:08	perdió de la vista la línea	distracción riesgo atrapa...
01:16	movimiento de manos no programado	atrapamiento
01:40	movimiento de manos no programado	atrapamiento
01:57	movimiento de manos no programado	atrapamiento
02:03	movimiento de manos no programado	atrapamiento
02:25	movimiento de manos no programado	atrapamiento
02:32	movimiento de manos no programado	atrapamiento
02:38	movimiento de manos no programado	atrapamiento
02:48	movimiento de manos no programado	atrapamiento
02:50	movimiento de manos no programado	atrapamiento
03:02	movimiento de manos no programado	atrapamiento

Figura 4.1 Ejemplo software semáforo rojo

Fuente: Autor

The screenshot shows the same software interface as Figure 4.1, but the traffic light is now green. The "Reporte" table is identical to the one in Figure 4.1.

Tiempo	Descripción	Riesgo
00:03	movimiento de manos no programado	atrapamiento
00:04	movimiento de manos no programado	atrapamiento
00:08	movimiento de manos no programado	atrapamiento
00:18	movimiento de manos no programado	atrapamiento
00:48	movimiento de manos no programado	atrapamiento
01:02	movimiento de manos no programado	atrapamiento
01:08	perdió de la vista la línea	distracción riesgo atrapa...
01:16	movimiento de manos no programado	atrapamiento
01:40	movimiento de manos no programado	atrapamiento
01:57	movimiento de manos no programado	atrapamiento
02:03	movimiento de manos no programado	atrapamiento
02:25	movimiento de manos no programado	atrapamiento

Figura 4.2 Ejemplo software semáforo verde

Fuente: Autor

4.4 Análisis matemáticos de incidentes

El análisis matemático (Fig. 4.3) revela lo siguiente sobre la distribución porcentual de los incidentes:

- **Riesgo de atrapamiento:** Este tipo de riesgo representa el 94.58% de los incidentes registrados, con un total de 681 eventos. Este dato sugiere que el riesgo de atrapamiento es el problema predominante en las operaciones actuales y debe ser priorizado en cualquier intervención preventiva.
- **Distracción con riesgo de atrapamiento:** Con un total de 33 eventos, este tipo de riesgo corresponde al 4.58% de los incidentes. Aunque representa un porcentaje menor, su conexión con el atrapamiento lo convierte en un factor crítico que podría exacerbar el problema principal.
- **Golpes:** Este tipo de incidente tuvo un registro de solo 6 eventos, representando el 0.83% del total. Aunque su impacto en términos de frecuencia es bajo, se debe considerar como un indicador de áreas que podrían ser optimizadas en términos de seguridad.

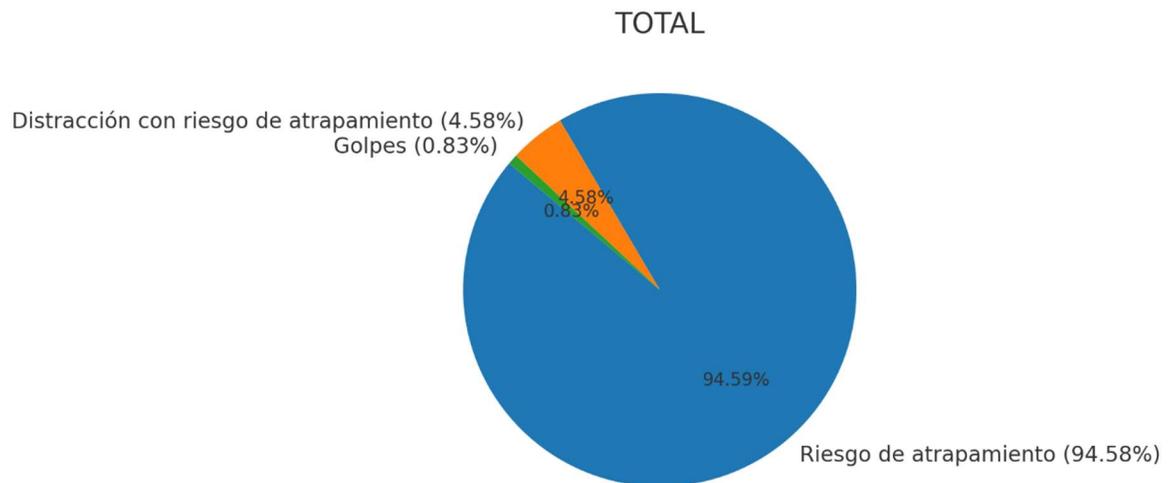


Figura 4.3 Diagrama de pastel de incidentes

Fuente: Autor

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se logró desarrollar e implementar un sistema de detección temprana con inteligencia artificial en orden de mejorar la seguridad laboral de los colaboradores, identificando los patrones y posibles señales de alerta de riesgos dentro de una línea de producción de blísteres. Para ello, se utilizó cámaras de seguridad que capturan en tiempo real datos (big data), a través de la prueba piloto se demuestra la efectividad en la detección de condiciones peligrosas generadas por el personal.
- Se investigó y se logró identificar la técnica de machine learning más adecuada para la detección temprana de riesgos laborales en la empresa farmacéutica, considerando los aspectos de la línea de producción y su personal. Se seleccionó el modelo de machine learning supervisado porque se conocía la variable objetivo, que en este caso correspondía a los movimientos inadecuados de los operarios, los cuales implicaban riesgos por la proximidad a la máquina en funcionamiento.
- Se desarrolló un sistema de recolección de datos y procesamiento de videos que permite capturar en tiempo real información para el análisis de accidentes o incidentes.
- El desarrollo del algoritmo se llevó a cabo en el lenguaje de programación C# de Microsoft, orientado a objetos y diseñado con un alto nivel de seguridad. Es ampliamente utilizado en aplicaciones prácticas y en este caso, fue adaptado especialmente para detectar acciones peligrosas y movimientos inseguros en las operaciones de la línea de producción.
- Para la implementación de la prueba piloto se integraron cámaras en la línea de producción, se recopilaron datos sobre movimientos inusuales de los operarios, lo cual nos permitió la generación de alertas tempranas. Se categorizó el riesgo “atrapamiento” como el de mayor incidencia por la cantidad de casos detectados.
- Se evaluó la eficacia de la prueba piloto de detección temprana con inteligencia artificial mediante pruebas y comparando los métodos tradicionales de seguridad industrial. Los resultados dieron mayor precisión en la identificación de riesgos y detección temprana de incidentes.

5.2 Recomendaciones

- Implementación del sistema de monitoreo en tiempo real para mejorar la detección de condiciones peligrosas en todas las áreas de la empresa farmacéutica.
- Revisión y actualización de todos los sistemas, formatos, procedimientos y registros de seguridad para adaptarlos a las nuevas tecnologías y normativas vigentes.
- Capacitación continua a personal para reducir el número de incidentes relacionados con la seguridad en las líneas de producción.
- Realizar auditorías y revisiones periódicas de los sistemas implementados para evaluar el nivel de efectividad de las estrategias implementadas y/o por implementarse.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, M. (2020). El uso de la inteligencia artificial en la prevención de riesgos laborales. *Revista Internacional y Comparada de Relaciones Laborales y Derecho del Empleo*, 8 (1), 262-293. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11441/95665>
- Bishop, C. (2006). *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer New York. Obtenido de <https://www.springer.com/gp/book/9780387310732>
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32. <https://doi.org/https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- China, C. R. (2023). Cinco tipos de machine learning que conviene conocer. Obtenido de <https://www.ibm.com/es-es/think/topics/machine-learning-types>
- Das, A., Panda, S., Datta, S., Naskar, S., Misra, P., & Chattopadhyay, T. (2018). AI based Safety System for Employees of Manufacturing Industries in Developing Countries. *arXiv preprint*. <https://doi.org/https://doi.org/10.48550/arXiv.1811.12185>
- Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2018). BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. *Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, Volume 1 (Long and Short Papers)*, 4171–4186. <https://doi.org/https://doi.org/10.48550/arXiv.1810.04805>
- Duda, R. O., Hart, P. E., & Stork, D. G. (2000). *Pattern Classification (2nd Edition ed.)*. Wiley. <https://doi.org/https://dl.acm.org/doi/book/10.5555/954544>
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. The MIT Press. Obtenido de <https://www.deeplearningbook.org/>
- Hoang, D., & Ly, T. (2024). Artificial Intelligent Applications in Occupational Safety and Safety Training. *YMER*. Obtenido de <http://ymerdigital.com>
- Jain, A., Murty, M., & Flynn, P. (1999). Data Clustering: A Review. *ACM Computing Surveys*, 31(3), 264-323. <https://doi.org/https://doi.org/10.1145/331499.331504>
- Jetha, A., Bakhtari, H., Rosella, L. C., Gignac, M. A., Biswas, A., Shahidi, F. V., . . . Smith, P. M. (2023). Artificial intelligence and the work–health interface: A research agenda for a technologically transforming world of work. *American Journal of Industrial Medicine*, 66(10), 815-830. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ajim.23517>
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/nature14539>

- Macías, M. (2022). La inteligencia artificial para el entorno laboral. Un enfoque en la predicción de accidentes. *E-Revista Internacional De La Protección Social*, 7(1), 84–101. <https://doi.org/https://doi.org/10.12795/e-RIPS.2022.i01.05>
- Macías, M. (2024). La intervención de las tecnologías digitales en la gestión de la seguridad y salud de las personas trabajadoras. *Lex Social: Revista De Derechos Sociales*, 14(1), 1–24. <https://doi.org/https://doi.org/10.46661/lexsocial.9647>
- MacQueen, J. (1967). Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations. In *Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability (Vol. 1, No. 14, pp. 281-297)*. Obtenido de https://digitalassets.lib.berkeley.edu/math/ucb/text/math_s5_v1_article-17.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Murtagh, F., & Legendre, P. (2014). Ward's hierarchical agglomerative clustering method: Which algorithms implement Ward's criterion? *Journal of Classification*, 31(3), 274–295. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00357-014-9161-z>
- Pishgar , M., Issa , S., Sietsema, M., Pratap, P., & Darabi, H. (2021). REDECA: A Novel Framework to Review Artificial Intelligence and Its Applications in Occupational Safety and Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(13), 6705. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijerph18136705>
- Russell , S., & Norvig, P. (2020). Artificial Intelligence: A Modern Approach. (4th ed. ed.). *Pearson Education*. Obtenido de <https://aima.cs.berkeley.edu/>
- Rybak, N., & Hassall, M. (2025). Artificial Intelligence Applications for Workplace Safety: An In-Depth Examination. *Encyclopedia of Information Science and Technology, Sixth Edition*. <https://doi.org/https://doi.org/10.4018/978-1-6684-7366-5.ch085>
- Silberg, J., & Manyika, J. (2019). Los sesgos en la inteligencia artificial (y en los seres humanos) y cómo resolverlos. *McKinsey & Company*. Obtenido de <https://www.mckinsey.com/featured-insights/artificial-intelligence/tackling-bias-in-artificial-intelligence-and-in-humans/es-es>
- Sutton, R., & Barto, A. (2018). Reinforcement Learning: An Introduction (2.ª ed.). *MIT Press*. Obtenido de <http://incompleteideas.net/book/RLbook2020.pdf>
- World Health Organization. (2010). Mental Health and Work: Impact, Issues and Good Practices. World Health Organization. Obtenido de https://www.who.int/mental_health/publications/mental_health_work/en/
- World Health Organization. (2021). Ethics and governance of artificial intelligence for health. Obtenido de <https://www.who.int/es/news/item/28-06-2021-who-issues-first-global-report-on-ai-in-health-and-six-guiding-principles-for-its-design-and-use>
- Xu, R., & Wunsch, D. (2005). Survey of Clustering Algorithms. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 16(3), 645-678. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/TNN.2005.845141>

Zhu , X., & Goldberg, A. (2009). Introduction to Semi-Supervised Learning. *Springer Cham*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-031-01548-9>

ANEXOS

ANEXO A

Cronograma de producción línea #7

Mes	Agosto				
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
TRABAJADOR #1	8:00	10:00	8:00	10:00	8:00
TRABAJADOR #2	10:00	12:00	10:00	12:00	10:00
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
TRABAJADOR #3	8:00	10:00	8:00	10:00	8:00
TRABAJADOR #4	10:00	12:00	10:00	12:00	10:00
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
TRABAJADOR #5	8:00	10:00	8:00	10:00	10:00
TRABAJADOR #6	10:00	12:00	10:00	12:00	12:00
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
TRABAJADOR #7	8:00	10:00	8:00	10:00	10:00
TRABAJADOR #8	10:00	12:00	10:00	12:00	12:00
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
TRABAJADOR #9	Asignado a otra línea de producción				
TRABAJADOR #10	Asignado a otra línea de producción				
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
TRABAJADOR #11	Asignado a otra línea de producción				
TRABAJADOR #12	Asignado a otra línea de producción				
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
TRABAJADOR #13	Asignado a otra línea de producción				
TRABAJADOR #14	Asignado a otra línea de producción				
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
TRABAJADOR #15	Asignado a otra línea de producción				
TRABAJADOR #16	Vacaciones				

Mes	Septiembre				
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
TRABAJADOR #1	Asignado a otra línea de producción				
TRABAJADOR #2	Asignado a otra línea de producción				
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
TRABAJADOR #3	Vacaciones				
TRABAJADOR #4	Asignado a otra línea de producción				
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
TRABAJADOR #5	Asignado a otra línea de producción				
TRABAJADOR #6	Asignado a otra línea de producción				
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
TRABAJADOR #7	Asignado a otra línea de producción				
TRABAJADOR #8	Vacaciones				
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
TRABAJADOR #9	8:00	10:00	8:00	10:00	10:00
TRABAJADOR #10	10:00	12:00	10:00	12:00	12:00
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
TRABAJADOR #11	8:00	10:00	8:00	10:00	10:00
TRABAJADOR #12	10:00	12:00	10:00	12:00	12:00
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
TRABAJADOR #13	8:00	10:00	8:00	10:00	10:00
TRABAJADOR #14	10:00	12:00	10:00	12:00	12:00
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
TRABAJADOR #15	8:00	10:00	8:00	10:00	10:00
TRABAJADOR #16	10:00	12:00	10:00	12:00	12:00

Mes	Octubre				
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
TRABAJADOR #1	8:00	10:00	8:00	10:00	8:00
TRABAJADOR #2	10:00	12:00	10:00	12:00	10:00
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
TRABAJADOR #3	Asignado a otra línea de producción				
TRABAJADOR #4	Vacaciones				
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
TRABAJADOR #5	8:00	10:00	8:00	10:00	8:00
TRABAJADOR #6	10:00	12:00	10:00	12:00	10:00
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
TRABAJADOR #7	Vacaciones				
TRABAJADOR #8	Asignado a otra línea de producción				
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
TRABAJADOR #9	8:00	10:00	8:00	10:00	8:00
TRABAJADOR #10	10:00	12:00	10:00	12:00	10:00
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
TRABAJADOR #11	Asignado a otra línea de producción				
TRABAJADOR #12	Asignado a otra línea de producción				
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
TRABAJADOR #13	8:00	10:00	8:00	10:00	8:00
TRABAJADOR #14	10:00	12:00	10:00	12:00	10:00
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
TRABAJADOR #15	Asignado a otra línea de producción				
TRABAJADOR #16	Asignado a otra línea de producción				

ANEXO B

Encuesta de Percepción de Seguridad y Satisfacción Laboral

Estimado colaborador, su opinión es muy importante para nosotros. Por favor, responda las siguientes preguntas con sinceridad. Sus respuestas serán confidenciales.

1. Datos Generales

- Departamento/Área: _____

- Puesto de Trabajo: _____

2. Seguridad en el Trabajo

¿Considera que las condiciones de seguridad en el área de trabajo han mejorado en los últimos meses?

- Sí

- No

- No sé

¿Se siente seguro/a al operar la máquina encartonadora?

- Siempre

- A veces

- Nunca

¿Considera que los procedimientos de seguridad son claros y fáciles de seguir?

- Sí

- No

- No sé

3. Capacitación y Uso de Equipos

¿Ha recibido capacitación adecuada sobre el manejo de la máquina y los riesgos asociados?

- Sí

- No

¿Cuenta con el equipo de protección personal necesario?

- Sí

- No

4. Satisfacción Laboral

En una escala del 1 al 5, donde 1 es “muy insatisfecho” y 5 es “muy satisfecho,” ¿cómo calificaría su nivel de satisfacción con la seguridad en el área de trabajo?

- 1

- 2

- 3

- 4

- 5

ANEXO C

Respuestas de encuesta de percepción de seguridad y satisfacción laboral

Empleado	Pregunta 1	Pregunta 2	Pregunta 3	Pregunta 4
1	Sí	No	Sí	No
2	No	Sí	Sí	No
3	Sí	No	No	Sí
4	Sí	No	No	Sí
5	No	Sí	Sí	No
6	Sí	No	No	Sí
7	No	Sí	Sí	No
8	Sí	No	No	Sí
9	No	Sí	Sí	No
10	Sí	No	Sí	Sí
11	Sí	No	No	Sí
12	No	Sí	Sí	No
13	Sí	No	No	Sí
14	No	Sí	Sí	No
15	Sí	No	No	Sí
16	No	Sí	Sí	No

	No	Sí
Pregunta1	43,75	56,25
Pregunta2	56,25	43,75
Pregunta3	43,75	56,25
Pregunta4	50	50

ANEXO D

Producción de muestras médicas.

MES	CATEGORÍA	NOMBRE	PLANIFICACIÓN
Agosto	Digestivos	Astor 20mg	330
Agosto	Digestivos	Clodopan 10mg	330
Agosto	Digestivos	Digestotal 30mg	330
Agosto	Analgésico	Tensorelax	330
Agosto	Respiratorios	Asmichem 10mg	330
Septiembre	Digestivos	Astor 20mg	330
Septiembre	Digestivos	Clodopan 10mg	330
Septiembre	Digestivos	Digestotal 30mg	330
Septiembre	Analgésico	Tensorelax	330
Septiembre	Respiratorios	Asmichem 10mg	330
Octubre	Digestivos	Astor 20mg	330
Octubre	Digestivos	Clodopan 10mg	330
Octubre	Digestivos	Digestotal 30mg	330
Octubre	Analgésico	Tensorelax	330
Octubre	Respiratorios	Asmichem 10mg	330