

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**“METODOLOGÍA PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES  
DE TRABAJO MEDIANTE ANÁLISIS PREDICTIVO”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL**

**ELABORADO POR:**

**HUIDOBRO CARDENAS EDSON SANTIAGO**

**ASESOR:**

**MSc. JAVIER ENRIQUE TAPE ROJAS**

**LIMA – PERÚ**

**2023**

**DEDICATORIA**

**A Dios, a mi padre por ser el mejor guía; a mi madre, por siempre estar en todo momento y a mi hijo; por el infinito amor que le tengo y me ayuda a mejorar cada día.**

## **AGRADECIMIENTO**

A mi asesor de tesis, Msc. Javier Taipe quiero agradecerle por su labor como profesional de la seguridad y salud en el país y a todas aquellas personas con las que he coincidido que me han ayudado en mi crecimiento como profesional y persona.

## RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo proponer una metodología para la prevención de accidente mediante el análisis predictivo. Primero se repasaron las cuestiones asociadas a seguridad y salud en el trabajo, sobre todo las causas que pueden tener los accidentes, ya que el control de las mismas nos lleva a la prevención de los mismos. Luego de esto, se revisaron las acciones que existen para prevenir los accidentes, entre ellas las diversas técnicas de análisis predictivo como la regresión y estadística bayesiana.

Para definir la técnica a usar, primero, se realizó la recolección de datos provenientes del servicio de seguridad y salud en el trabajo del sujeto de estudio, siendo estos las fuentes los hallazgos reportados en el aplicativo de seguridad, observaciones de tareas operativas (OTO), registros de inspecciones formales y los registros de investigación de incidente y accidente de trabajo. Una vez habiendo recopilado estos datos, y debido a la forma que estaban estructurados, se decidió usar la regresión logística como técnica de análisis predictivo teniendo como unidad de análisis el comportamiento de cada variable en un mes en cada una de las empresas contratistas y áreas de la compañía que se han incluido en el estudio.

Para la regresión logística, se tuvo que considerar variables independientes (predictoras) y respuestas, estas últimas solamente categóricas y dicotómicas, es decir solo tomaron dos valores, el valor de 1 cuando ocurre el suceso que se quiere prevenir y 0 cuando no ocurre el suceso. En este caso, se trabajó dos modelos, uno enfocado en prevenir la ocurrencia de sucesos en general, es decir incidentes y accidentes, y otro enfocado en prevenir la ocurrencia de sucesos con una severidad de accidente incapacitante, los cuales son los accidentes que ingresan en el cálculo de los indicadores de seguridad utilizados en el sujeto de estudio y en la minería peruana en general. Los modelos obtuvieron un porcentaje correcto de predicción de 69.6% y de 68.9 % y una capacidad de discriminación entre ocurrencia y no

ocurrencia del suceso (área bajo la curva COR) de 75.7% y 77.8% respectivamente, alejado del 50% que representa el azar, es decir, la nula capacidad de discriminación.

Una vez obtenido un modelo con un poder predictivo importante, la siguiente etapa del análisis predictivo es implementar la predicción y monitoreo del modelo en el sujeto de estudio, sin embargo, el presente estudio tiene la limitación de no haber aplicado esta etapa, solamente recomendando una metodología para su aplicación.

Tal metodología se basa en la metodología ya existente e implementada que es la Seguridad Basada en el Comportamiento y en el Principio de Pareto.

## ABSTRACT

The objective of this study was to propose a methodology for accident prevention through predictive analysis. First, the issues associated with occupational health and safety were reviewed, especially the causes of accidents, since their control leads to accident prevention. After this, the actions that exist to prevent accidents were reviewed, including the various predictive analysis techniques such as regression and Bayesian statistics.

To define the technique to be used, first, data was collected from the occupational health and safety service of the subject of the study, the sources being the findings reported in the safety application, observations of operational tasks (OTO), records of formal inspections and records of investigation of incidents and accidents at work. Once these data were collected, and due to the way, they were structured, it was decided to use logistic regression as a predictive analysis technique, taking as the unit of analysis the behavior of each variable in one month in each of the contractors and areas of the company included in the study.

For the logistic regression, independent variables (predictors) and responses had to be considered, the latter only categorical and dichotomous, i.e., they only took two values, the value of 1 when the event to be prevented occurs and 0 when the event does not occur. In this case, two models were worked on, one focused on preventing the occurrence of events in general, i.e., incidents and accidents, and the other focused on preventing the occurrence of events with a disabling accident severity, which are the accidents that are included in the calculation of the safety indicators used in the subject of study and in Peruvian mining in general. The models obtained a correct prediction percentage of 69.6% and 68.9% and a discrimination capacity between occurrence and non-occurrence of the event (area under the COR curve) of 75.7% and 77.8% respectively, far from the 50% that represents the chance, that is, the null discrimination capacity.

Once a model with significant predictive power has been obtained, the next stage of predictive analysis is to implement the prediction and monitoring of the model in the study subject; however, the present study has the limitation of not having applied this stage, only recommending a methodology for its application.

Such methodology is based on the already existing and implemented methodology which is Behavioral Based Safety and the Pareto Principle.

## PRÓLOGO

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo con la finalidad de cumplir con los requisitos exigidos por la Facultad de Ingeniería Ambiental (FIA) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) para obtener el grado de Ingeniero de Higiene y Seguridad Industrial, por lo que se buscó trabajar en un tema de investigación relacionado a la especialidad y donde se ponga en uso los conocimientos adquiridos.

En base a esto, el trabajo se ha realizado usando como información los datos generados por el servicio de seguridad y salud en el trabajo de una unidad minera subterránea ubicada en la sierra peruana entre junio 2017 y junio 2019. Unidad en la cual laboré desde enero 2018 hasta junio 2019. El período de investigación y redacción de este trabajo ha durado desde julio 2019 y junio 2022,

Los objetivos de la investigación fueron planteados en base a la experiencia adquirida, la información disponible, el conocimiento actual, y las nuevas tendencias en seguridad y salud en el trabajo a nivel mundial.

Pero, ante todo, la motivación de este trabajo de investigación surge de mi interés en estudiar y abarcar nuevos conocimientos de manera continua lo cual me permite considerar que, como sucede en otras ramas, la ciencia de los datos será de gran importancia en el futuro de la gestión de seguridad y salud en el trabajo, si es que ya no lo es en el presente.

Por último, como lo expresé en mis agradecimientos, todas las personas que he conocido han influenciado de alguna u otra forma en el desarrollo de esta tesis, entre ellos mis colegas y compañeros de estudio quien han alimentado mi conocimiento y criterio en los diversos momentos que hemos compartido.

Espero que disfruten la lectura.



## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT.....	VI
PRÓLOGO .....	VIII
ÍNDICE .....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS .....	XVI
GLOSARIO .....	XVIII
<b>1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Generalidades.....	1
1.2. Problemática.....	2
1.2.1. Evolución de la Normativa Legal Peruana.....	2
1.2.2. Problemática de la Accidentabilidad en la Minería Peruana .....	3
1.3. Justificación.....	6
1.3.1. Trabajador.....	6
1.3.2. Economía .....	8
1.4. Objetivos .....	9
1.4.1. General.....	9
1.4.2. Específica.....	9
1.5. Hipótesis .....	10
1.5.1. General.....	10
1.5.2. Específica.....	10

1.6.	Antecedentes Históricos.....	11
2.	<b>CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
2.1.	Seguridad en el Trabajo .....	15
2.2.	Accidente e Incidente de Trabajo .....	16
2.2.1.	Incidente.....	16
2.2.2.	Accidente .....	17
2.2.3.	Daño a la Propiedad .....	18
2.2.4.	Suceso .....	19
2.3.	Indicadores en Seguridad y Salud en el Trabajo.....	19
2.3.1.	Indicadores Retrasados (“Lagging Indicators”).....	19
2.3.2.	Indicadores Adelantados (“Leading Indicators”).....	22
2.3.3.	Elección de Indicadores.....	25
2.4.	Variables Relacionadas a la SST .....	27
2.4.1.	Causas de Accidentes.....	27
2.4.2.	Teorías de las Causas de los Accidentes .....	29
2.4.3.	Otras Variables .....	32
2.5.	Modelos de Accidentabilidad .....	36
2.5.1.	Modelo de Lawrence .....	36
2.5.2.	Pirámides .....	37
2.5.3.	Bow Tie.....	39
2.5.4.	Systems-Theoretic Accident Model and Processes (STAMP).....	41
2.5.5.	Causalidad de Pérdidas .....	42
2.5.6.	Modelo Del Queso Suizo .....	44
2.5.7.	SHIPP .....	45
2.6.	Gestión de Riesgos .....	47

2.6.1.	<b>Peligros y Riesgos .....</b>	<b>48</b>
2.6.2.	<b>Identificación de Peligros .....</b>	<b>48</b>
2.6.3.	<b>Evaluación de Riesgos.....</b>	<b>50</b>
2.6.4.	<b>Control de Riesgos.....</b>	<b>53</b>
2.7.	<b>Técnicas de Seguridad.....</b>	<b>54</b>
2.7.1.	<b>Técnicas Analíticas .....</b>	<b>55</b>
2.7.2.	<b>Técnicas Operativas.....</b>	<b>66</b>
2.8.	<b>Principio de Pareto.....</b>	<b>69</b>
2.9.	<b>Análisis Predictivo.....</b>	<b>70</b>
2.9.1.	<b>Definiciones .....</b>	<b>70</b>
2.9.2.	<b>Proceso de Análisis Predictivo .....</b>	<b>72</b>
2.9.3.	<b>Categorías de Modelos Predictivos .....</b>	<b>73</b>
2.9.4.	<b>Técnicas Predictivas Existentes.....</b>	<b>74</b>
2.10.	<b>Seguridad Basada en el Comportamiento.....</b>	<b>78</b>
2.10.1.	<b>Teoría Tricondicional del Comportamiento Seguro .....</b>	<b>78</b>
2.10.2.	<b>Principios del SBC .....</b>	<b>79</b>
2.10.3.	<b>Programa de SBC.....</b>	<b>82</b>
2.10.4.	<b>Resultados de SBC .....</b>	<b>84</b>
2.11.	<b>Decisión.....</b>	<b>85</b>
3.	<b>CAPÍTULO III: MARCO CONTEXTUAL.....</b>	<b>87</b>
3.1.	<b>Normativa Nacional .....</b>	<b>87</b>
3.1.1.	<b>Ley SST .....</b>	<b>87</b>
3.1.2.	<b>Reglamento de la Ley SST .....</b>	<b>87</b>
3.1.3.	<b>RSSO en Minería.....</b>	<b>88</b>
3.2.	<b>Normativa Internacional .....</b>	<b>89</b>

3.2.1.	ISO 45001 .....	89
3.2.2.	ISRS.....	90
3.3.	Situación de la SST en el Sujeto de Estudio.....	91
4.	<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA .....</b>	<b>97</b>
4.1.	Alcance de la Investigación .....	97
4.2.	Enfoque del Estudio .....	98
4.3.	Recolección de Información .....	98
4.4.	Limpieza y Preparación de la Información Recolectadas.....	100
4.4.1.	Reporte de Acto y/o Condición Subestándar. ....	100
4.4.2.	Reporte de Observación de Tarea Operativa (OTO).....	105
4.4.3.	Inspecciones Formales .....	106
4.4.4.	Informe Final de Investigación de Incidentes/Accidentes .....	110
4.5.	Análisis de Variables.....	114
4.6.	Herramientas de Investigación.....	122
4.6.1.	Regresión Logística .....	122
4.6.2.	Metodología Aplicada.....	131
5.	<b>CAPÍTULO V: APLICACIÓN Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>134</b>
5.1.	Muestra Recolectada.....	134
5.1.1.	Características Generales.....	134
5.1.2.	Características de las Variables .....	134
5.2.	Validación de Condiciones de Regresión Logística .....	140
5.3.	Modelado Predictivo para Sucesos.....	141
5.4.	Modelado Predictivo para Sucesos con Severidad de Accidente Incapacitantes .....	146

<b>6. CAPÍTULO VII: PROPUESTA DE METODOLOGÍA DE PREVENCIÓN DE ACCIDENTES .....</b>	<b>151</b>
6.1. Condiciones Previas .....	151
6.2. Diagnóstico.....	152
6.3. Planificar la Acción.....	155
6.4. Material Formativo.....	156
6.5. Intervención .....	156
6.6. Monitoreo .....	156
6.7. Reajuste .....	157
<b>7. CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>158</b>
<b>8. CONCLUSIONES.....</b>	<b>163</b>
<b>9. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>165</b>
<b>10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>167</b>
<b>11. ANEXO .....</b>	<b>176</b>
<b>ANEXO A. Preguntas de la Observación de Tarea Operativa (OTO) .....</b>	<b>176</b>
<b>ANEXO B. Modelado Predictivo de Sucesos a través de SPSS.....</b>	<b>178</b>
<b>ANEXO C. Modelado Predictivo de Sucesos con Severidad de Accidente Incapacitante a través de SPSS .....</b>	<b>181</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Índice de Accidentabilidad en minería peruana entre los años 2013 y 2019. ....	4
<b>Figura 2.</b> Índice de frecuencia de la minería peruana y chilena entre los años 2013 y 2019. ....	5
<b>Figura 3.</b> Tasa de fatalidad de accidentes de la minería peruana y chilena entre los años 2013 y 2019. ....	5
<b>Figura 4.</b> Tasa de fatalidad de la minería peruana y estadounidense entre los años 2013 y 2019. ....	5
<b>Figura 5.</b> Pirámide de Indicadores de SST. ....	27
<b>Figura 6.</b> Teoría del Dominó. ....	29
<b>Figura 7.</b> Pirámide de Heinrich. ....	37
<b>Figura 8.</b> Pirámide de Bird. ....	38
<b>Figura 9.</b> Modelo Bow Tie ....	39
<b>Figura 10.</b> Modelo de Causalidad de Pérdidas. ....	44
<b>Figura 11.</b> Modelo del Queso Suizo. ....	45
<b>Figura 12.</b> Modelo de Accidente SHIPP. ....	46
<b>Figura 13.</b> Estimación del Riesgo mediante la Probabilidad y Severidad. ....	52
<b>Figura 14.</b> Técnicas de Seguridad en la Gestión de Riesgo. ....	55
<b>Figura 15.</b> Diagrama de Pareto. ....	69
<b>Figura 16.</b> Metodología del Análisis Predictivo. ....	70
<b>Figura 17.</b> Proceso de Análisis Predictivo. ....	73
<b>Figura 18.</b> Árboles de decisión. ....	75
<b>Figura 19.</b> Modelo de Aprendizaje ABC. ....	80
<b>Figura 20.</b> Proceso DOIT. ....	81
<b>Figura 21.</b> Entrada a operaciones en mina subterránea. ....	92
<b>Figura 22.</b> Planta de beneficio. ....	93
<b>Figura 23.</b> Registro de inspección de seguridad. ....	93
<b>Figura 24.</b> Registro de informe final de investigación de accidente o incidente. ....	94
<b>Figura 25.</b> Aplicativo de reporte de actos, condiciones, OTO y OPT. ....	95

<b>Figura 26.</b> Curva de la función de probabilidad de regresión logística multivariable binomial. ....	123
<b>Figura 27.</b> Tabla de clasificación.....	129
<b>Figura 28.</b> Curva COR y Línea No Discriminante. ....	130
<b>Figura 29.</b> Curva COR de Modelo Predictivo para Sucesos.....	146
<b>Figura 30.</b> Curva COR de Modelo Predictivo para Sucesos con Severidad de Accidente Incapacitante.....	150
<b>Figura 31.</b> Diagrama de Pareto de Causas Inmediatas en el Mes Anterior. ....	154

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Indicadores comunes adelantados por cada elemento de la gestión de SST. ....	24
<b>Tabla 2.</b> Número y porcentaje de accidentes mortales por tipo entre los años 2007 y 2019. ....	33
<b>Tabla 3.</b> Número y porcentaje de accidentes mortales por tiempo de servicios entre los años 2007 y 2019.....	34
<b>Tabla 4.</b> Clasificación de técnicas de seguridad. ....	54
<b>Tabla 5.</b> Clasificación de inspecciones de seguridad.....	56
<b>Tabla 6.</b> SCAT.....	62
<b>Tabla 7.</b> Resultados de la Implementación de la SBC. ....	84
<b>Tabla 8.</b> Nivel de Riesgo. ....	102
<b>Tabla 9.</b> Puntaje de Severidad de Consecuencias ....	112
<b>Tabla 10.</b> Puntaje de Probabilidad de la Repetición. ....	112
<b>Tabla 11.</b> Matriz de Variables. ....	116
<b>Tabla 12.</b> Matriz de Variables Convertidas a Categóricas. ....	119
<b>Tabla 13.</b> Metodología de la Investigación – Paso a Paso.....	131
<b>Tabla 14.</b> Media de cada Variable Independiente Cuantitativa por cada empresa contratista o área de compañía considerando solo el mes anterior del mes de análisis. ....	135
<b>Tabla 15.</b> Desviación estándar de cada Variable Independiente Cuantitativa por cada empresa contratista o área de compañía considerando solo el mes anterior del mes de análisis.....	136
<b>Tabla 16.</b> Resumen de media y desviación estándar de cada variable independiente cuantitativa. ....	137
<b>Tabla 17.</b> Porcentaje de presencia de evento (valor 1) en las variables independientes cualitativas.....	138
<b>Tabla 18.</b> Porcentaje de presencia de evento (valor 1) en las variables respuesta. ....	139
<b>Tabla 19.</b> Estadísticos del modelado predictivo para Sucesos – Escenario 1 .....	141



<b>Tabla 20.</b> Tabla de Clasificación de modelado predictivo para Sucesos – Escenario 2. ....	142
<b>Tabla 21.</b> Matriz de Correlaciones – Escenario 1 - Variables Independientes de modelado predictivo para Sucesos. ....	142
<b>Tabla 22.</b> Estadísticos del modelado predictivo para Sucesos – Escenario 2.....	143
<b>Tabla 23.</b> Tabla de Clasificación de modelado predictivo para Sucesos – Escenario 2. ....	143
<b>Tabla 24.</b> Matriz de Correlaciones – Escenario 2- Variables Independientes de modelado predictivo para Sucesos. ....	143
<b>Tabla 25.</b> Tabla de Clasificación de modelado predictivo para Sucesos – Escenario 1 – Datos de prueba. ....	144
<b>Tabla 26.</b> Tabla de Clasificación de modelado predictivo para Sucesos – Escenario 2 – Datos de prueba. ....	144
<b>Tabla 27.</b> Estadísticos del modelado predictivo para Sucesos de Severidad De Accidente Incapacitantes. ....	147
<b>Tabla 28.</b> Tabla de Clasificación de modelado predictivo para Sucesos de Severidad De Accidente Incapacitantes. ....	147
<b>Tabla 29.</b> Matriz de Correlaciones – Variables Independientes de modelado predictivo para Sucesos de Severidad De Accidente Incapacitantes. ....	148
<b>Tabla 30.</b> Tabla de Clasificación de modelado predictivo para Sucesos de Severidad De Accidente Incapacitantes – Datos de prueba. ....	148
<b>Tabla 31.</b> Tipos de Evento según la Variable Independiente. ....	152
<b>Tabla 32.</b> Resumen de Tipos de Causas Inmediatas en el Mes Anterior. ....	154
<b>Tabla 33.</b> Resumen de Resultados de Modelos Predictivos. ....	158
<b>Tabla 34.</b> Variables Independientes Predictoras Identificadas.....	159

**GLOSARIO**

Accidente	Todo suceso repentino que sobrevenga por causa o con ocasión del trabajo y que produzca en el trabajador una lesión orgánica, una perturbación funcional, una invalidez o la muerte. Es también accidente de trabajo aquel que se produce durante la ejecución de órdenes del empleador, o durante la ejecución de una labor bajo su autoridad, y aun fuera del lugar y horas de trabajo.
Incidente	Suceso acaecido en el curso del trabajo o en relación con el trabajo, en el que la persona afectada no sufre lesiones corporales, o en el que éstas sólo requieren cuidados de primeros auxilios
Daño a la Propiedad	Evento no intencional resultante en daño material/equipos, a la propiedad o pérdida en el proceso por paradas de tiempo, sin lesiones a la persona
Suceso	Término que engloba accidente, incidente y daños a la propiedad.
Acto subestándar	Es toda acción o práctica incorrecta ejecutada por el trabajador que puede causar un accidente
Condición subestándar	Es toda condición en el entorno del trabajo que puede causar un accidente.
OTO	Observación de tarea operativa. También hace referencia al reporte de la observación en el aplicativo. Se usa OTOs para el uso del término en plural.
Aplicativo	Aplicativo usado en el sujeto de estudio donde se reportan actos y condiciones subestándares, OTOs y datos de investigación de sucesos.
Observación	Acto u condición subestándar observado en una inspección formal.
Hallazgo	Acto u condición subestándar reportados en el aplicativo.
Variables	Característica que puede ser medida, adoptando diferentes valores

Especificidad	Capacidad del modelo predictivo para discriminar correctamente los casos donde no ocurre el evento observado.
Sensibilidad	Capacidad del modelo predictivo para detectar correctamente los casos donde sí ocurre el evento observado.
Punto de Corte	Valor a partir del cual se determina que la probabilidad obtenida por el modelo predice la ocurrencia del evento asociado a la variable respuesta. Este valor está entre 0 y 1.
Curva COR	Curva que compara la sensibilidad y especificidad de un modelo predictivo según cada punto de corte establecido.
AUC	Área bajo la curva COR que determina la capacidad de discriminación del modelo predictivo entre la ocurrencia y ausencia del evento asociado a la variable respuesta.

## 1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Generalidades

El propósito del presente trabajo de investigación es establecer una metodología para la prevención de accidentes mediante el análisis predictivo, esto debido a que la gestión de seguridad y salud en el trabajo puede seguir mejorando, siendo algunas de estas opciones el uso de tecnología y análisis de datos.

Ya existen actualmente varios estudios que utilizan el análisis de datos, entre ellos el análisis predictivo, para abordar cuestiones de seguridad y salud en el trabajo, sin embargo, en el Perú no han existido muchos, habiéndose encontrado una cantidad menor a cinco (05) antecedentes de uso de análisis de datos en seguridad y salud en el trabajo a nivel nacional.

El presente trabajo usó como técnica de análisis predictivo la regresión logística, para lo cual primero se identificaron posibles variables independientes que predigan la ocurrencia de sucesos (accidentes o incidentes de trabajo), por lo que la ocurrencia de sucesos fue la variable respuesta elegida.

Después, se procedió a determinar realmente cuales son las variables que sí tienen un poder predictivo significativo en la predicción de sucesos mediante métodos ya usados previamente en otros trabajos de investigación. Al determinar tales variables, se determinó también modelos matemáticos que predicen la ocurrencia de sucesos en el trabajo, siendo validados al usar primero datos de entrenamiento, es decir, datos con los que se construye el modelo, y luego datos de prueba que son los que permiten validar el modelo previamente establecido.

Luego de esto, el proceso de análisis predictivo indica que se debería de ejecutar las predicciones en la gestión de las empresas con la finalidad de ver el impacto de las mismas, sin embargo, el presente trabajo tiene la limitación de no

aplicar esta última etapa. Ante esto, se propone un modelo para su ejecución, el cual es la metodología de prevención de accidentes propuesta.

Por último, cabe indicar que los datos utilizados fueron obtenidos a través de las inspecciones de seguridad, investigación de accidentes y reportes en un aplicativo usado en el sujeto de estudio y que antes del uso de la técnica de análisis predictivo, se realizó la limpieza y estructuración de los mismos.

## **1.2. Problemática**

### ***1.2.1. Evolución de la Normativa Legal Peruana***

En 1964 se publicó la primera norma asociada a la seguridad y salud en el trabajo (en adelante SST), el Decreto Supremo (en adelante D.S.) N° 42-F Reglamento de Seguridad Industrial que estableció disposiciones generales relacionadas a la gestión de seguridad industrial y requisitos operativos en las industrias. El siguiente año, 1965, se publicó el D.S. N° 29-65-DGS Reglamento para la Apertura y Control Sanitario de Plantas Industriales.

En el 2001, el Decreto Legislativo N° 910 Ley General de Inspección del Trabajo y Defensa del Trabajador estableció la creación de una comisión que se encargue de elaborar un proyecto de reglamento en materia de SST, la cual fue constituida mediante el D.S. N° 007-2001-TR con la participación de personas del sector salud, energía y minas, pesquería, transportes, comunicaciones, vivienda y construcción, agricultura, ESSALUD y el Ministerio del Trabajo y Promoción Social.

En el 2005, en base al trabajo realizado por la comisión mencionada, mediante el D.S. N° 009-2005-TR se aprobó el Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo, el cual mencionaba como objetivo promover una cultura de prevención de riesgos laborales en el país con la participación de los trabajadores, empleadores y del estado, quienes, a través del diálogo social, velarían por la promoción, difusión y cumplimiento de la normativa.

Este decreto supremo quedó derogado el año 2011 con la publicación de la ley N° 29783 ley de SST, la cual tiene el mismo objetivo, añadiendo el rol de fiscalización y control del Estado, así como la participación de las organizaciones sindicales. La ley junto a su reglamento ha sido modificada posteriormente con varios dispositivos legales.

En cuanto a minería, en el 2001 se publicó el D.S. N° 046-2001-EM Reglamento de Seguridad e Higiene Minera y en el 2010 se actualizó con el D.S. N° 055-2010-EM Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional y otras medidas complementarias en minería; y en el año 2016 y en base a la ley SST, el Ministerio de Energía y Minas adecuó el reglamento de la ley de SST para el sector minería mediante la publicación del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (en adelante RSSO en Minería) a través del D.S. N° 024-2016-EM, modificado posteriormente por el D.S. N° 023-2017-EM. En este dispositivo legal, así como la ley de SST, se menciona la obligatoriedad de que las empresas cuenten con un sistema de gestión de SST.

### **1.2.2. Problemática de la Accidentabilidad en la Minería Peruana**

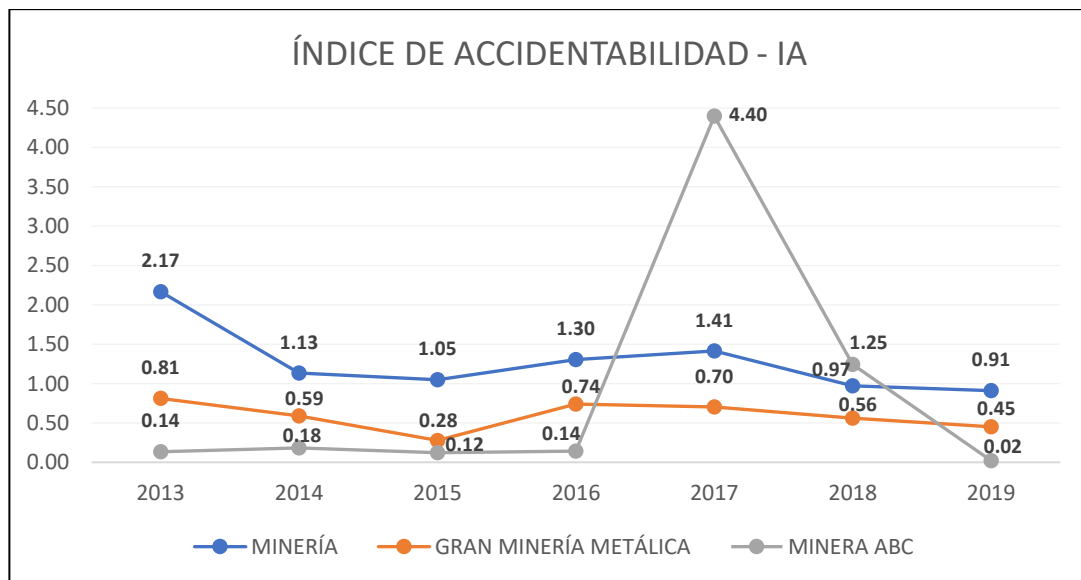
Como se puede ver en la Figura 1, desde el año 2016, año de publicación del RSSO en Minería, ha existido una disminución en los indicadores de accidentabilidad en la minería en general y en la gran minería metálica, subsector al cual pertenece la unidad minera sujeto de estudio<sup>1</sup>. Sin embargo, la empresa a la cual pertenece el sujeto de estudio (Minera ABC) ha tenido indicadores de accidentabilidad por encima del promedio en minería y del subsector gran minería metálica, en los años 2017 y 2018. Esto debido a la ocurrencia de cuatro (04) y tres (03) accidentes mortales respectivamente entre todas las unidades mineras de la

---

<sup>1</sup> Si bien en el año 2013 el sujeto de estudio pertenecía a la mediana minería metálica, se realiza la comparación considerando las estadísticas de la gran minería metálica ya que a partir del año 2014 el sujeto de estudio perteneció a este subsector.

empresa, dos (02) de ellos ocurridos en la unidad minera sujeto de estudio en el año 2017. Las estadísticas no incluyen los daños a la propiedad y los incidentes debido a que estos no son reportados a las autoridades competentes del sector, a excepción de los incidentes peligrosos; sin embargo, no existe un análisis de los mismos de manera anual.

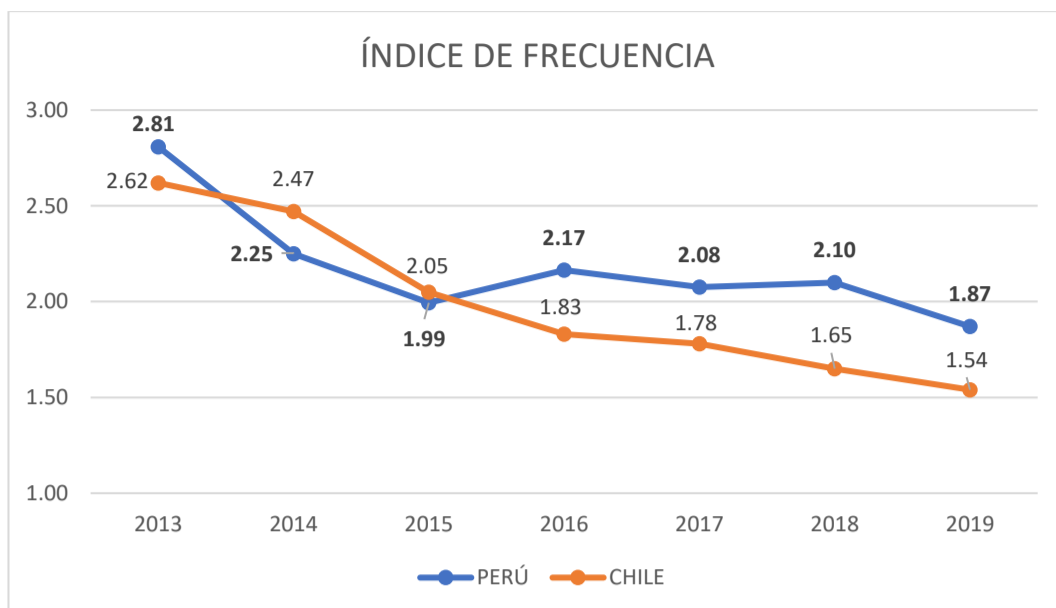
**Figura 1.** Índice de Accidentabilidad en minería peruana entre los años 2013 y 2019.



Nota. Adaptado de Análisis Estadístico de Seguridad y Compendio Ilustrativo de Accidentes en el Sector de Mediana Minería y Gran Minería, Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería [OSINERGMIN] (2013-2019).

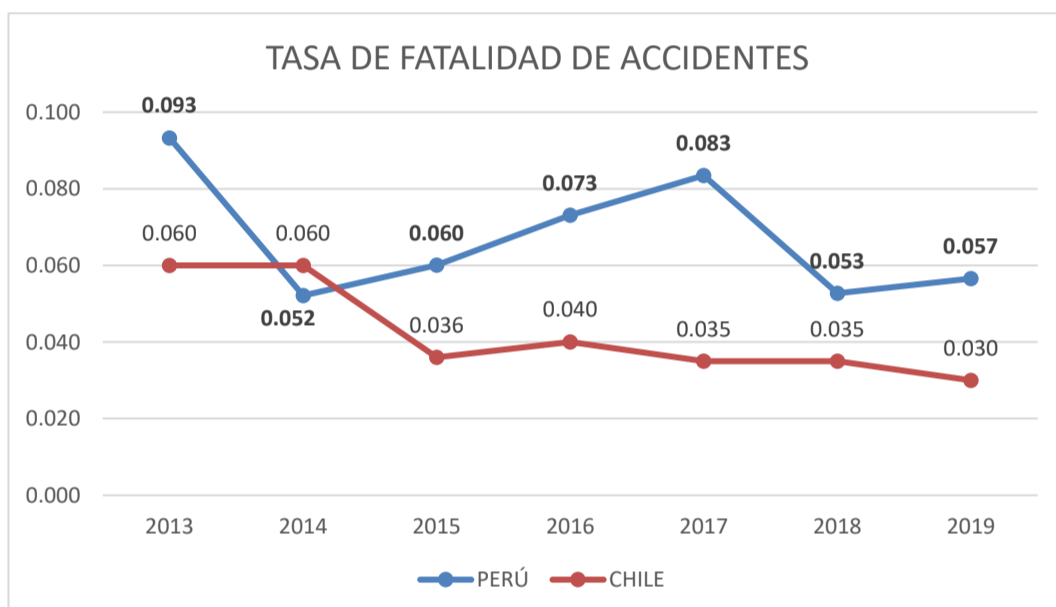
Entre los años 2013 y 2019, la minería peruana ha tenido indicadores de accidentabilidad y fatalidad mayores a la minería chilena, a excepción del año 2014 y 2015 como se puede ver en la Figura 2 y 3. En el mismo período de tiempo, la minería peruana ha tenido indicadores de fatalidad mayores a los de la minería estadounidense, a excepción del año 2014 según lo expresado en la Figura 4.

**Figura 2.** Índice de frecuencia de la minería peruana y chilena entre los años 2013 y 2019.



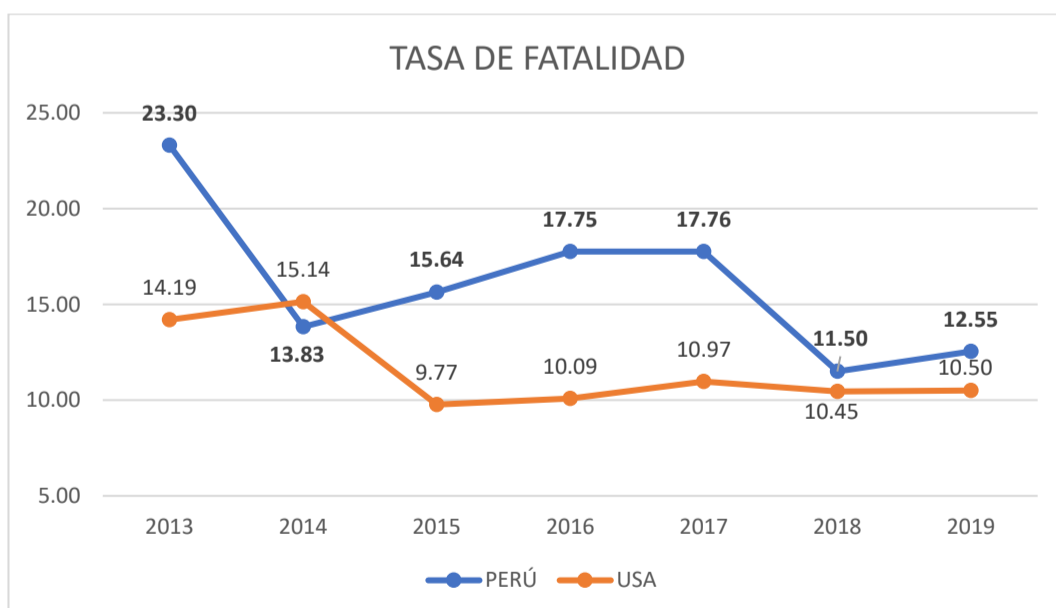
Nota. Adoptado de Análisis Estadístico de Seguridad y Compendio Ilustrativo de Accidentes en el Sector de Mediana Minería y Gran Minería, OSINERGMIN (2013-2019) y Accidentabilidad Minera Año 2013 - 2019 (Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile [SERNAGEOMIN], 2014-2020).

**Figura 3.** Tasa de fatalidad de accidentes de la minería peruana y chilena entre los años 2013 y 2019.



Nota. Adoptado de Análisis Estadístico de Seguridad y Compendio Ilustrativo de Accidentes en el Sector de Mediana Minería y Gran Minería, OSINERGMIN (2013-2019) y Accidentabilidad Minera Año 2013 - 2019, SERNAGEOMIN (2014-2020).

**Figura 4.** Tasa de fatalidad de la minería peruana y estadounidense entre los años 2013 y 2019.



Nota. Adoptado de Análisis Estadístico de Seguridad y Compendio Ilustrativo de Accidentes en el Sector de Mediana Minería y Gran Minería, OSINERGMIN (2013-2019) y "Number and rate of occupational mining fatalities by year", 1983 - 2019 (NIOSH, 2020).



Si bien existe una disminución de accidentes de trabajo en minería, el sujeto de estudio presenta una cantidad de accidentes significativos. Además, la minería peruana no alcanza aún los niveles de accidentabilidad que tienen la minería chilena y estadounidense por lo que se tiene la necesidad de mejorar en la gestión de SST para lograr una mayor disminución de los accidentes.

Bird (1985) indicó que para evitar la ocurrencia de accidentes se deben controlar antes las causas inmediatas (acto y condición subestándar), causas básicas (factores de trabajo y personales) y falta de control.

Además, Schwarz (2017) identificó patrones no tradicionales que tienen influencia con la ocurrencia de accidentes en la minería peruana como el grado de complejidad de la operación, antigüedad laboral, disponibilidad de equipos y controles, frecuencia de incidentes y accidentes previos y clima laboral de la organización.

Recientemente, la OIT (2019) recomienda como respuesta a los nuevos cambios en el trabajo, la anticipación del riesgo; siendo algunas de sus prácticas los pronósticos, evaluaciones tecnológicas y estudios prospectivos. Así mismo, Vassallo (2017) menciona que la implementación de un sistema de gestión ha sido eficaz en SST pero que es momento de pasar al siguiente nivel para mejorar el rendimiento, siendo esta oportunidad el uso eficaz de la tecnología y el análisis de los datos.

### **1.3. Justificación**

#### **1.3.1. *Trabajador***

La Declaración Universal de los Derechos Humanos (1948), en su artículo 23 indica que: “Toda persona tiene derecho al trabajo, a la libre elección de su trabajo, a condiciones equitativas y satisfactorias de trabajo (...)”. (p. 57)

El Convenio 155 de la OIT (1981) en su artículo 13 indica que:

De conformidad con la práctica y las condiciones nacionales, deberá protegerse de consecuencias injustificadas a todo trabajador que juzgue necesario interrumpir una situación de trabajo por creer, por motivos razonables, que ésta entraña un peligro inminente y grave para su vida o su salud. (p. 7)

La Constitución Política del Perú 1993 establece:

- Artículo 2: Toda persona tiene derecho: A la vida, a su identidad, a su integridad moral, psíquica y física y a su desarrollo y bienestar.
- Artículo 7: Todos tienen derecho a la protección de su salud.
- Artículo 22°: El trabajo es un deber y un derecho.
- Artículo 23: Ninguna relación laboral puede limitar el ejercicio de los derechos constitucionales. (p. 5-13)

La ley de SST, ley N° 29783, en su principio de prevención indica que: el empleador garantiza, en el centro de trabajo, el establecimiento de los medios y condiciones que protejan la vida, la salud y el bienestar de los trabajadores, y de aquellos que, no teniendo vínculo laboral, prestan servicios o se encuentran dentro del ámbito del centro de labores. (p. 1)

Por último, en el reglamento de la ley de SST D.S. N° 005 –2012, del Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo (MTPE), se define al accidente de trabajo como “todo suceso repentino que sobrevenga por causa o con ocasión del trabajo y que produzca en el trabajador una lesión orgánica, una perturbación funcional, una invalidez o la muerte.” (p. 31)

En base a lo expuesto, el accidente de trabajo produce un daño a la salud del trabajador por lo que debe ser prevenido por el empleador cumpliendo con el derecho de los trabajadores a realizar sus actividades en un ambiente de trabajo seguro.

### **1.3.2. Economía**

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España [INSHT] (2013), como se citó en MTPE (2017), indica que los costos de un accidente laboral se agrupan de la siguiente forma:

- Tipo A: Costes de mantenimiento de la producción, soportados en su mayoría por la empresa.
- Tipo B: Pérdidas e ingresos a largo plazo que afecta al trabajador y la sociedad; como el pago de subsidios y la falta de pago de impuestos.
- Tipo C: Costes médicos, atención sanitaria y rehabilitación, los cuales recaen en la sociedad. En el caso peruano, en el seguro médico.
- Tipo D: Costes de dolor y sufrimiento que recaen en su totalidad al trabajador afectado.

Si bien, no se detalla la metodología utilizada, el INSHT concluye que los costos totales se distribuyen de la siguiente forma: 20.1% son de tipo A, el 14.9% son del tipo B, el 8.1% son del tipo C y el 59.9% son del tipo D.

Cossio (2016) realiza un análisis de los costos de accidentabilidad en el Perú entre los años 2011 y 2014, considerando lo siguiente:

- Costos de atención de salud.
- Salarios perdidos.
- Horas hombre perdidas.
- Asesoría legal.
- Indemnizaciones por daños y perjuicios.
- Multa administrativa por parte de Superintendencia Nacional de Fiscalización Laboral (SUNAFIL).
- Costo del salario del trabajador sustituto.

En este mismo estudio, Cossio (2016) asumiendo algunos valores hipotéticos por cada uno de los tipos de costos, estima que los costos de accidentes de trabajo representaron alrededor del 0.58% del Producto Bruto Interno (PBI) para el año 2013.

Giraldo & Badillo (2015) actualizaron los costos de los accidentes analizados por el Mg. Tomás Acero en el año 2004, estimando que para el 2012, el costo promedio de un accidente mortal en la minería peruana asciende a USD 196,102.94 y el de un accidente incapacitante a USD 7,206.87. En base a esto, concluyeron que un accidente significa pérdida de capital humano, retraso en el cumplimiento de labores productivas e incumplimiento de metas y compromisos contraídos, traduciéndose en pérdidas económicas.

En base a esto, la disminución de los accidentes de trabajo significa también disminución de pérdidas para los trabajadores, empresas y el país.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. General**

Establecer una propuesta de metodología para la prevención de accidentes mediante análisis predictivo.

### **1.4.2. Específica**

Los objetivos específicos son:

- Determinar las técnicas de análisis predictivo de utilidad en prevención de accidente de trabajo.
- Determinar las variables que pueden predecir la ocurrencia de accidentes de trabajo.

- Establecer modelos matemáticos predictivos que permitan predecir la ocurrencia de accidentes de trabajo.
- Establecer planes de acción que ayudarán en la reducción de accidentes de trabajo como consecuencia del uso del análisis predictivo, basados en otras acciones ya implementadas en seguridad y salud en el trabajo.

## **1.5. Hipótesis**

### **1.5.1. General**

Es posible establecer una metodología para la prevención de accidentes mediante herramientas de análisis predictivo.

### **1.5.2. Específica**

Las hipótesis específicas son:

- Las técnicas de regresión son de utilidad en la prevención de accidentes de trabajo.
- El número de actos y condiciones subestándares, los incidentes y accidentes previos y los resultados de la gestión de SST son variables que predicen la ocurrencia de accidentes de trabajo.
- El número de actos y condiciones subestándares, los incidentes y accidentes previos y los resultados de la gestión de SST pueden ser parte de modelos matemáticos que predicen la ocurrencia de accidentes de trabajo.
- Es posible implementar planes de acción para la reducción de accidentes de trabajo mediante el uso de análisis predictivo, principio de Pareto y teniendo como guía la implementación de un programa de seguridad basada en el comportamiento.

## 1.6. Antecedentes Históricos

- a) José Francisco Muñoz Villalba, Universidad de Zaragoza, 2018  
Tesis Doctoral “Diseño y validación de una herramienta predictiva de accidentes laborales en las obras de construcción.”

Trabajo en el que se detalla la recopilación de estadísticas de accidentabilidad en distintas obras de construcción para obtener una herramienta predictiva de accidentes laborales por medio de regresión de logística y árboles de regresión

Para esto, en el trabajo se diseñó una lista de verificación sobre los principales aspectos (variables independientes predictoras) que pueden influenciar en el número de accidentes (variable respuesta) en una obra de construcción.

El estudio tiene como conclusión que la herramienta cuenta con un 71,0% de capacidad predictiva para accidentes leves y un 72,8% para los accidentes graves.

Los datos de este estudio fueron obtenidos a través de visitas a 353 obras de construcción en un período de 6 años, del 2006 al 2012.

- b) Saavedra y Martínez-Alegría, Universidad de Vigo, 2018  
Tesis doctoral “Análisis de accidentabilidad en construcción mediante técnicas de minería de datos”

Trabajo en el que se realiza el análisis a tres artículos de investigación, que utilizan el análisis bayesiano para dar una predicción a la ocurrencia de accidentes de trabajo.

Los estudios concluyen que mediante el uso de redes bayesianas se:

- Permite identificar y localizar los principales agentes de accidentalidad y, por otro, identificar los principales factores secundarios que los ocasionan en actividades de movimiento de tierras.
- Permite cuantificar diferentes tipos de accidentes y sus atributos predictivos más influyentes asociados a la construcción de bancos en los trabajos de ingeniería civil o minera.
- Demuestra la relación entre el lugar de trabajo y el riesgo de accidentes de trabajo, ya que predijo la probabilidad de riesgo de un accidente en más del 90% en la industria de construcción.

c) Schwarz, M., Universidad de Lima, 2017

Artículo “Redes Neuronales para el reconocimiento de patrones no tradicionales en la predicción de accidentes fatales en la industria minera peruana”

Trabajo de investigación en el que, mediante la aplicación de redes neuronales, se concluye la existencia de patrones no tradicionales de alta correlación e influencia en los accidentes fatales como el grado de complejidad de la operación, la antigüedad laboral, la disponibilidad de equipos y controles, la frecuencia de incidentes y accidentes y el clima laboral de la organización. Según este trabajo, estos factores explican el 99.97% las causas de accidentes fatales en la industria minera peruana entre los años 2010-2015.

Además, concluye también que la accidentabilidad tiene una correlación definida con la intensidad de accidentes previos que se presentan en la operación minera.

d) Rivas et al., 2011

Artículo “Explaining and predicting workplace accidents using data-mining techniques”

En este trabajo de investigación se realizó una comparación de los resultados de técnicas como la estadística bayesiana y árboles de decisión con la regresión logística mediante la realización de entrevistas a trabajadores de dos (02) empresas; siendo una minera y otra del sector construcción. Cabe indicar que dicha entrevista se realizaba después de la ocurrencia de un accidente o un incidentes.

El estudio ha permitido detectar las variables más relevantes en la ocurrencia de accidentes, como duración de la tarea, estado contractual de la empresa, entre otros; y obtener las siguientes tasas de éxito en la predicción de accidentes:

- Estadística bayesiana: Entre 79% y 88%.
- Árboles de decisión: Entre 77% y 87%.
- Regresión logística: 72.5%.

Además, Rivas et al. indican que algunas técnicas basadas en estadística bayesiana permiten incluso realizar análisis hipotéticos, por ejemplo calcular la probabilidad de ocurrencia de accidente en trabajadores con más de 40 años, lo que permite explorar los datos con mayor detalle y considerar varios escenarios de accidentes o incidentes.

e) Kang & Riu, 2011

Artículo "Predicting types of occupational accidents at construction sites in Korea using random forest model"

En este trabajo se obtuvo una precisión de 71% en el modelo que predecía los accidentes mediante datos meteorológicos (temperatura, humedad, entre otros), además, pudieron determinar las principales causas para distintos tipos de accidentes, como que la falta de uso de EPP y la falta o mal uso de dispositivos de seguridad eran las principales causas para accidentes relacionados a caídas de altura.



Los datos de accidentabilidad utilizados fueron a nivel país y fueron recopilados de la información administrada por la institución responsable de los mismos en Corea del Sur así como de la agencia meteorológica correspondiente. Además, para obtener los resultados indicados, fue usado “machine learning” (aprendizaje automático) y el método de modelo forestal aleatorio.

f) Sanmiquel et al., 2015

Artículo “Study of Spanish mining accidents using data mining techniques”

En este trabajo de investigación mediante el uso de técnicas como clasificadores bayesianos, se determinó las principales causas de accidentes en la minería española; los cuales fueron: tipo de causa previa (causa inmediata), lugar (área donde ocurrió el accidente), tamaño (número de empleados de la empresa), actividad física, responsabilidad en la organización preventiva (propia, tercera, entre otras), y edad del involucrado.

Los datos de accidentabilidad son a nivel país y fueron recopilados de la información administrada por la institución responsable de los mismos en España. Además, para obtener los resultados indicados, fueron usados también árboles de decisión y el software Weka.

## 2. CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.1. Seguridad en el Trabajo

El D.S. 005-2012-TR (2012) indica que seguridad “son todas aquellas acciones y actividades que permiten al trabajador laborar en condiciones de no agresión tanto ambientales como personales para preservar su salud y conservar los recursos.” (p. 35)

La OIT (2011) indica que la seguridad en el trabajo es una disciplina técnica que engloba el conjunto de técnicas y procedimientos que tienen por objeto eliminar o disminuir el riesgo de que se produzcan los accidentes de trabajo.

Según Bird (1985), seguridad es “el control de pérdidas accidentales, que incluye la lesión, la enfermedad, el daño a la propiedad y la pérdida en el proceso” (p. 20), mientras que para Cortés (2012) seguridad en el trabajo es “el conjunto de procedimientos y recursos técnicos aplicados a la eficaz prevención y protección de los accidentes.” (p. 46)

Si bien el D.S. 005-2012-TR solo define el término seguridad, la definición incluye también la protección de la salud por lo que, para fines de este estudio, el concepto de SST es el de seguridad expresado en esta normativa legal, el cual es también el usado en la unidad minera sujeto de estudio. Otras definiciones indicadas en el D.S. 005-2012-TR y que son usadas en el presente estudio son:

Gestión de la Seguridad y Salud: Aplicación de los principios de la administración moderna a la seguridad y salud, integrándola a la producción, calidad y control de costos.

Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo: Conjunto de elementos interrelacionados o interactivos que tienen por objeto establecer una política, objetivos de seguridad y salud en el trabajo, mecanismos y acciones necesarios para alcanzar dichos objetivos.

Salud: Es un derecho fundamental que supone un estado de bienestar físico, mental y social, y no meramente la ausencia de enfermedad o de incapacidad.

Trabajador: Toda persona que desempeña una actividad laboral subordinada o autónoma, para un empleador privado o para el Estado. (p. 32-35)

## **2.2. Accidente e Incidente de Trabajo**

### **2.2.1. Incidente**

El D.S. N°005-2012-TR (2012) indica que incidente es el “suceso acaecido en el curso del trabajo o en relación con el trabajo, en el que la persona afectada no sufre lesiones corporales, o en el que éstas sólo requieren cuidados de primeros auxilios” (p. 34). Esta definición, en la que el incidente no genera algún daño en la persona, es compartida por Cortés (2012) y Bird (1985), aunque este último agrega también la no generación de daños en la propiedad y el proceso.

Sin embargo, la ISO 45001:2018 (2018) define a incidente como “el suceso que surge del trabajo o en el transcurso del trabajo que podría tener o tiene como resultado lesiones y deterioro de la salud” (p. 19); siendo cuasi-accidente aquel “suceso donde no se produjo daño a la salud” (p. 19), similar al concepto utilizado por la OIT (2015).

Para propósitos del presente estudio, se utiliza la definición indicada en el D.S. 005-2012-TR ya que es la definición que se maneja en el sistema de gestión de SST del sujeto de estudio.

### **2.2.2. Accidente**

El D.S. N°005-2012-TR (2012) indica que accidente de trabajo es:  
Todo suceso repentino que sobrevenga por causa o con ocasión del trabajo y que produzca en el trabajador una lesión orgánica, una perturbación funcional, una invalidez o la muerte. Es también accidente de trabajo aquel que se produce durante la ejecución de órdenes del empleador, o durante la ejecución de una labor bajo su autoridad, y aun fuera del lugar y horas de trabajo. (p. 31)

Esta definición guarda relación con las definiciones de accidente de trabajo de Cortés (2012) y Bird (1985), aunque este último también considera accidente a los sucesos que generan un daño en la propiedad o el proceso.

Además, el D.S. N°005-2012-TR clasifica a los accidentes según su gravedad. Estas clasificaciones son:

1. Accidente Leve: Suceso cuya lesión, resultado de la evaluación médica, que genera en el accidentado un descanso breve con retorno máximo al día siguiente a sus labores habituales.
2. Accidente Incapacitante: suceso cuya lesión, resultado de la evaluación médica, da lugar a descanso, ausencia justificada al trabajo y tratamiento. Para fines estadísticos, no se tomará en cuenta el día de ocurrido el accidente. Según el grado de incapacidad los accidentes de trabajo pueden ser:

- 2.1. Total Temporal: cuando la lesión genera en el accidentado la imposibilidad de utilizar su organismo; se otorgará tratamiento médico hasta su plena recuperación.
  - 2.2. Parcial Permanente: cuando la lesión genera la pérdida parcial de un miembro u órgano o de las funciones del mismo.
  - 2.3. Total Permanente: cuando la lesión genera la pérdida anatómica o funcional total de un miembro u órgano; o de las funciones del mismo. Se considera a partir de la pérdida del dedo meñique.
3. Accidente Mortal: Suceso cuyas lesiones producen la muerte del trabajador. Para efectos estadísticos debe considerarse la fecha del deceso. (p. 31)

Para propósitos del presente estudio, se utiliza la definición de accidente indicada en el D.S. 005-2012-TR ya que es la definición que maneja el sistema de gestión de SST en el sujeto de estudio, incluida las clasificaciones de accidentes.

### **2.2.3. Daño a la Propiedad**

La ley de SST (2011) se enfoca en la salud y seguridad de los trabajadores, no mencionando, de forma explícita, el cuidado o la prevención de daños a la propiedad, equipos o procesos. Además, la ISO 45001:2018 (2018) tampoco aborda los daños a la propiedad.

Sin embargo, las definiciones de peligro y riesgo del D.S. 005-2012-TR (2012) incluyen, además de los daños a las personas, los daños a los equipos y procesos. Sumado a esto, Bird (1985) incluye en su definición de accidente, los daños a la propiedad, y que un análisis de estos nos da un mejor panorama para la prevención de los accidentes, debido a que:

- Un daño a la propiedad normalmente está relacionado con un alto potencial de accidente o incidente de trabajo.
- Tienden a tener las mismas causas que accidentes o incidentes.

Debido a esto último, se considera para el presente estudio el daño a la propiedad como otra categoría a ser estudiada. Además, el sistema de gestión de SST en el sujeto de estudio lo incluye de esta forma.

La definición del daño a la propiedad es la usada en la gestión de SST en el sujeto de estudio, la cual es “evento no intencional resultante en daño material/equipos, a la propiedad o pérdida en el proceso por paradas de tiempo, sin lesiones a la persona.” (Grupo Hochschild, 2018). Además, considerar que, dentro de la gestión del sujeto de estudio, se incluye el daño a la propiedad como otra categoría de accidente.

#### **2.2.4. Suceso**

Debido a que tanto la definición de accidente e incidente incluyen la palabra suceso, este término es el utilizado para referirse de manera indistinta a ambos.

### **2.3. Indicadores en Seguridad y Salud en el Trabajo**

#### **2.3.1. Indicadores Retrasados (“Lagging Indicators”)**

La “Occupational Safety and Health Administration” [OSHA] (2019) describe a los indicadores retrasados como aquellos que miden los eventos pasados como accidentes, enfermedades y fatalidades, además, menciona que los indicadores retrasados tradicionales miden también la gravedad de los incidentes de seguridad incluyendo los daños a la propiedad pasados.

Para la Workplace Safety and Health Council [WSH Council] (2012), estos indicadores son los que miden la eficacia del sistema de gestión SST, identificando debilidades y brechas, como también los reportes de los sucesos.

Para propósitos del presente estudio se usa la definición brindada por OSHA.

Estos indicadores, como se vio en el punto 1.2.2, pueden ser utilizados para comparar la situación de accidentabilidad entre realidades distintas, ya sea a nivel empresa, sector o país.

En el Perú, las estadísticas usadas para describir la gestión de seguridad se basan en este tipo de indicadores, incluso el D.S. 024-2016-EM (2016) exige el uso de los siguientes indicadores:

- Índice de frecuencia - IF

Número de accidentes mortales e incapacitantes por cada millón de horas hombre trabajadas. Siendo su fórmula:

$$IF = \frac{(N^{\circ} \text{ accidentes incapacitantes} + N^{\circ} \text{ accidentes mortales}) \times 10^6}{\text{Horas Hombre Trabajadas}}$$

- Índice de severidad - IS

Número de días perdidos o cargados por cada millón de horas - hombre trabajadas. Siendo fórmula:

$$IS = \frac{N^{\circ} \text{ días perdidos o cargados} \times 10^6}{\text{Horas Hombre Trabajadas}}$$

Donde:

N° de días perdidos: Los días que se dan de descanso médico como resultado de un accidente incapacitante temporal.

N° de días cargados: Días que se cargan a una lesión asignada debido a un accidente incapacitante de tipo permanente o un accidente mortal. En el caso del RSSO en Minería, el número de días cargados se indican en su Anexo N° 33.

- Índice de accidentabilidad - IA

Medición que combina el índice de frecuencia de lesiones con tiempo perdido (IF) y el índice de severidad de lesiones (IS), como un medio de clasificar a las empresas mineras. Siendo su fórmula:

$$IA = \frac{IF \times IS}{1000}$$

En cuanto a otros países, se han usado los siguientes indicadores:

- Tasa de Fatalidad de Accidentes – T Fat. (Servicio Nacional de Geología y Minería - SERNAGEOMIN, 2019)

Cantidad de trabajadores fallecidos por cada millón de horas persona trabajadas. Siendo su fórmula:

$$T \text{ Fat.} = \frac{N^{\circ} \text{ trabajadores fallecidos} \times 10^6}{\text{Horas hombre trabajadas}}$$

- Tasa de Fatalidad (“Fatality Rate”) – FR (National Institute for Occupational Safety and Health - NIOSH, 2020)

Esta tasa se define como el número de accidentes fatales por cada cien mil trabajadores a tiempo completo. Siendo su fórmula:

$$FR = \frac{N^{\circ} \text{ accidentes fatales} \times 10^4}{N^{\circ} \text{ trabajadores a tiempo completo}}$$

Cabe indicar que este último indicador no considera los trabajadores de oficina.

El cálculo de estos indicadores puede darse en distintos períodos de tiempo. Sin embargo, realizar un cálculo para períodos cortos pueda llevar a que no se tenga suficiente representatividad estadística por lo que también se recurre a un cálculo acumulado (Cortés, 2012). En el caso del Perú, el D.S. 024-2016-EM (2016) exige el cálculo de manera mensual y un acumulado anual.



Gracias a esto, los indicadores retrasados permiten comparar el rendimiento de accidentabilidad en distintos períodos de tiempo, pero pueden impulsar conductas equivocadas en los trabajadores como la disminución de reportes de accidentes (Jacobs, 2016). Sumado a esto, Bird (1985) indica que la debilidad de estos indicadores radica en que se aplican después de ocurrido el suceso (carácter reactivo) y que no da mayor detalle sobre los problemas y/o acciones a tomar.

En base a esto, se tiene la necesidad de tener otros indicadores que puedan medir el desempeño de SST sin la necesidad de ocurrencia de accidentes u otros sucesos.

### **2.3.2. Indicadores Adelantados (“Leading Indicators”)**

Para la WSH Council (2012), estos indicadores son los que miden proactivamente la eficacia de los controles de los riesgos mientras que OSHA (2019) los define como las mediciones proactivas, preventivas y predictivas que dan información sobre el performance de la SST, lo que hace que estos indicadores sean predictivos de los resultados futuros (Nolan & Anderson, 2015).

Para propósitos del presente estudio, ninguna definición de indicador adelantado es la adecuada por lo que se construye la siguiente definición: indicadores adelantados son aquellos indicadores que no miden los reportes de sucesos, sino el performance de SST de manera proactiva. Esta definición se hace en base a los conceptos indicados previamente.

Los indicadores adelantados tienen las siguientes ventajas:

- Dan una retroalimentación sobre la eficacia de la SST antes de la ocurrencia de un incidente o accidente de trabajo. (WSH Council, 2012)
- Permiten identificar y corregir las deficiencias en SST antes de un incidente o accidente de trabajo. (Sinelnikov, Inouye, & Kerper, 2015)

- Permite conocer el resultado de la eficacia de las actividades de monitoreo activo, como las inspecciones y test de prueba. (Hopkins, 2009)
- Generan ahorros en costos de reparaciones, entre otros. (OSHA,2019)

Stough (2016) menciona que los indicadores adelantados deben tener cinco características:

- Conectados estrechamente con los resultados
- Medibles de forma objetiva y confiable.
- Interpretados de la misma forma por diferentes grupos
- Aplicables a toda la empresa
- Comunicables de manera fácil y precisa.

Para el planteamiento de indicadores adelantados, OSHA (2019) indica tres enfoques. Cabe indicar que un indicador puede provenir de la combinación de dos o tres enfoques. Estos enfoques son:

**2.3.2.1. Utilizar datos ya Recolectados para Lograr Objetivos de SST.** Se recomienda este tipo de indicadores cuando se está iniciando a usar indicadores adelantados. Un indicador común es el porcentaje de asistencia del personal a las capacitaciones de SST, el cual se calcula en base a los registros de capacitaciones realizadas.

**2.3.2.2. Controlar Peligros Identificados.** Se recomienda este tipo de indicadores cuando se requiera controlar un peligro que haya estado involucrado en varios sucesos. Además, este tipo de indicador puede ser usado solo en alguna área o actividad, con la finalidad de poder controlar de forma más específica los sucesos. Un indicador común es el porcentaje de mantenimientos preventivos de los vehículos realizados en plazo, el cual es usado para controlar el peligro de “vehículo defectuoso”.

### 2.3.2.3. Medir la Mejora del Rendimiento del Sistema de Gestión

**De SST.** Estos indicadores son aquellos que se utilizan para mostrar el rendimiento de los elementos de la gestión de SST. Se muestran en la Tabla 1 indicadores comunes por cada tipo de elemento.

**Tabla 1.** Indicadores comunes adelantados por cada elemento de la gestión de SST.

<b>Elemento</b>	<b>Indicadores comunes</b>
<b>Liderazgo</b>	Porcentaje de asistencia de directivos a las capacitaciones de SST.
<b>Participación de los trabajadores</b>	Número de trabajadores que participan en la identificación y/o implementación de las acciones correctivas para eliminar los peligros.
<b>Identificación de peligros y evaluación de riesgos</b>	Porcentaje de inspecciones diarias/semanales/mensuales realizadas.
<b>Prevención y control de peligros</b>	Número de riesgos inaceptables identificados durante las evaluaciones de riesgos.
<b>Educación y entrenamiento</b>	Porcentaje de mejora en las puntuaciones de la evaluación posterior a la formación con respecto a las puntuaciones de la evaluación anterior a la formación (nota de examen de salida versus nota de examen de entrada).
<b>Comunicación y coordinación</b>	Frecuencia de reuniones de SST entre los trabajadores y supervisores.
<b>Evaluación y mejora del programa</b>	Número de inspecciones realizadas para identificar peligros.

Fuente: OSHA (Junio de 2019). Using Leading Indicators to Improve Safety and Health Outcomes

Si bien estos tipos de indicadores cuentan con varias ventajas, en algunos casos es conveniente contar también con indicadores retrasados como indicadores de la gestión de SST, debido a que en empresas donde existen muchos accidentes, usar solo un indicador adelantado, como el porcentaje de realización de inspecciones, no refleja de manera adecuada la eficacia del sistema de gestión de SST. (Hopkins, 2009)

En base a lo expresado, se hace muy importante elegir qué indicadores se van a utilizar en la gestión de SST.

### **2.3.3. Elección de Indicadores**

Tanto Baker III et al. (2007) y UK Health and Safety Executive [HSE] (2006) indican que un sistema de medición y evaluación eficaz de SST usa ambos tipos de indicadores, siendo esto posible gracias a que ambos se encuentran relacionados (Sheehan, Donohue, Shea, Cooper, & De Cieri, 2016). La HSE introduce también el concepto de “doble garantía”, indicando que el uso de ambos indicadores nos da la garantía de confirmar si el sistema de gestión de SST está funcionando según lo previsto (indicadores retrasados) o proporcionando una advertencia de que están empezando a surgir problemas (indicadores adelantados).

Swuste et al. (2016), indica que más allá de la división entre indicadores adelantados y retrasados se recomienda el término de indicador de SST. En la misma línea, Hopkins (2009) concluye que no hay una clara distinción entre indicadores adelantados y retrasados, por lo que lo más importante no es el uso de algún tipo de indicador, sino que estos deban elegirse para medir la eficacia de las medidas de control de SST. Por lo que, según lo expresado, se concluye que la mejor forma de tener un sistema de gestión SST eficaz es usando ambos tipos de indicadores.

Si bien OSHA (2019) indica que los indicadores adelantados deben basarse en los principios SMART, estos pueden ser aplicados a todos los indicadores de rendimiento (Badawy, El-Aziz, Idress, Hefny, & Hossam, 2016).

Tømmerås Selvik et al. (2021) definen los principios SMART de la siguiente forma:

**2.3.3.1. Específicos.** El indicador debe ser claro en lo que expresa y los datos pertinentes no deben depender de quién las genera y/o las interpreta.

**2.3.3.2. Medibles.** El indicador debe poder ser cuantificado para realizar comparaciones y los datos pertinentes deben poder recopilarse. Relacionad a esto, Hopkins (2009) menciona que debe haber suficientes datos para poder medir los indicadores.

**2.3.3.3. Realizables.** Las metas de los indicadores deben ser posibles de alcanzar y este indicador debe proporcionar la información adecuada sin incertidumbre.

**2.3.3.4. Relevantes.** El indicador debe estar alineado con los objetivos de la empresa.

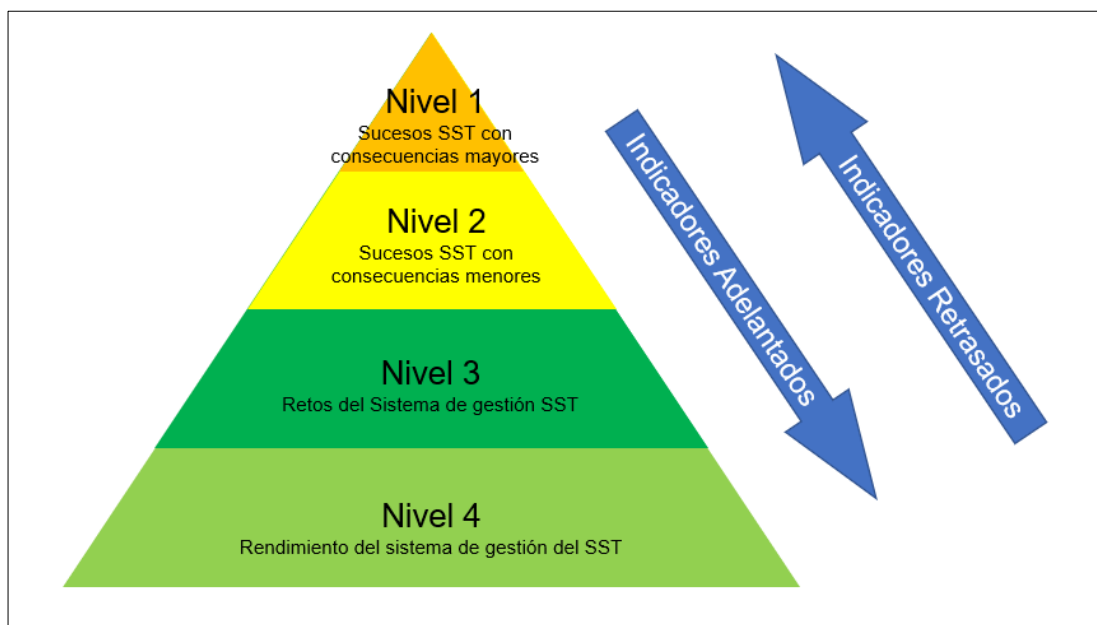
**2.3.3.5. Basados en el Tiempo.** El valor del indicador debe abarcar un período adecuado, ni muy corto ni muy largo. En el sujeto de estudio, los indicadores son calculados de manera mensual y anual.

En base a lo indicado previamente, si un indicador no cuenta con alguno de los principios, es muy complicado su uso en la toma de decisiones, el cual es el fin de los mismos. Si bien concluyen también que la “M” de SMART puede ser obviada ya que la definición de indicador per se incluye la medición de los mismos, para propósitos del presente estudio sí se considera este principio.

En base a lo indicado por la American Petroleum Institute [API] (2010) y las definiciones de accidente e incidente del D.S. 005-2012-TR, se recomienda el uso de indicadores retrasados para las situaciones donde existen sucesos y los adelantados para evaluar el sistema de gestión de SST y sus posibles retos.

Esta explicación se detalla en la figura 5, donde se colocan cuatro niveles de situación en los que se utilizan los indicadores de SST. Cabe indicar que si bien el documento de API ha sido desarrollado para las industrias de refinería y petroquímica, puede ser usado en otras industrias donde se cuente con procesos donde la pérdida de contención tiene un impacto negativo.

**Figura 5.** Pirámide de Indicadores de SST.



Nota: Adaptado de Recommended Practice 754 "Process Safety Indicators for the Refining and Petrochemical Industries", API (2010).

En base a lo expresado, los indicadores que son usados en el presente estudio cumplen con los principios SMART y dependen de la situación de la gestión de SST en el sujeto de estudio.

## **2.4. Variables Relacionadas a la SST**

### **2.4.1. Causas de Accidentes**

Según el D.S. 005-2012-TR (2012), la SST tiene como fin prevenir daños a la salud del trabajador, los cuales pueden ser causados por accidentes de trabajo y enfermedades profesionales u ocupacionales. Sin embargo, para el presente estudio solo se considera la prevención de los accidentes de trabajo, por lo que las variables relacionadas a la SST son las variables que intervienen en la prevención de los accidentes de trabajo, es decir las causas de estos accidentes.

El D.S. 005-2012-TR define a las causas de accidente como:

Son uno o varios eventos relacionados que concurren para generar un accidente. Se dividen en:

1. Falta de control: Son fallas, ausencias o debilidades administrativas en la conducción del empleador o servicio y en la fiscalización de las medidas de protección de la seguridad y salud en el trabajo.

2. Causas Básicas: Referidas a factores personales y factores de trabajo:

2.1. Factores Personales. - Referidos a limitaciones en experiencias, fobias y tensiones presentes en el trabajador.

2.2. Factores del Trabajo. - Referidos al trabajo, las condiciones y medio ambiente de trabajo: organización, métodos, ritmos, turnos de trabajo, maquinaria, equipos, materiales, dispositivos de seguridad, sistemas de mantenimiento, ambiente, procedimientos, comunicación, entre otros.

3. Causas Inmediatas. - Son aquellas debidas a los actos condiciones subestándares.

3.1. Condiciones Subestándares: Es toda condición en el entorno del trabajo que puede causar un accidente.

3.2. Actos Subestándares: Es toda acción o práctica incorrecta ejecutada por el trabajador que puede causar un accidente. (p.32)

Esta división de las causas de los accidentes es similar al modelo de causalidad de pérdidas planteado por Bird (1985), quien menciona que existen ciertos hechos que llevan a generar un accidente de trabajo (pérdida en la persona),

por lo que, a través del control de estos hechos, se podrán evitar los accidentes de trabajo. Este modelo se explica con mayor detalle en el capítulo 2.5.

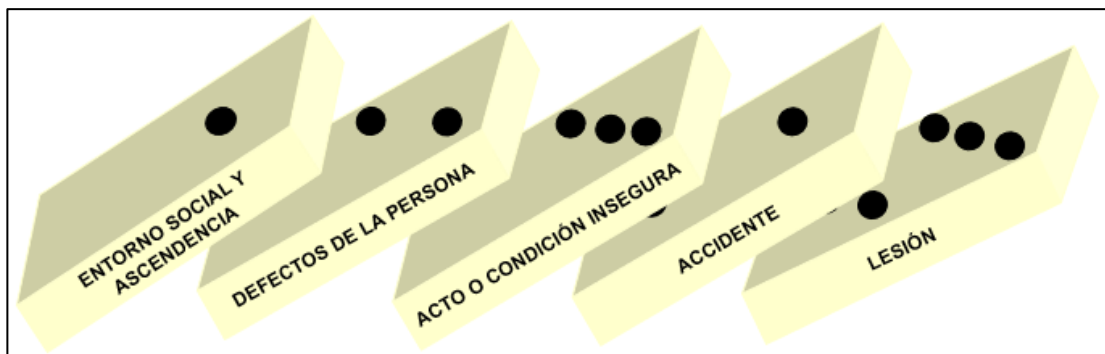
Sobre la frecuencia de las causas, Bird indicaba que entre el 85 a 96% de los accidentes son el resultado de actos inseguros o fallas de las personas, lo cual coincide con Verma & Chaudhari (2017), quienes indican que los actos inseguros son el factor más crítico en el desarrollo de accidentes en minería. Bird indicaba también que el 80% de los actos inseguros son originados por factores que dependen de la empresa. En cuanto a esto, todos los accidentes mortales ocurridos en minería durante los años 2017 y 2019 han tenido como origen la combinación de actos y condiciones subestándares según lo indicado por OSINERGMIN.

#### **2.4.2. Teorías de las Causas de los Accidentes**

La Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo de la OIT (1998) menciona las siguientes teorías sobre las causas de los accidentes:

**2.4.2.1. Dominó.** Indicada por primera vez por H.W. Heinrich en 1931, la teoría indica que los accidentes son consecuencia de una secuencia de cinco factores (fichas de dominó), donde la ocurrencia del primero generaría una cadena de acontecimientos que terminaría en la ocurrencia de una lesión en el trabajo como se indica en la figura 6.

**Figura 6.** Teoría del Dominó.





Fuente: The Theories of Accident Causation. Security Supervision and Management, (2015) basado en J.W. Heinrich (1931).

Los factores son:

- El entorno social y ascendencia, se refiere a todo lo que puede generar rasgos indeseables en las personas, considerando también el comportamiento heredado.
- Defectos de la persona, se refiere a aquellas características de la persona que son propicias para generar accidentes, como el mal temperamento o la imprudencia.
- Actos o condiciones inseguras, son las causas inmediatas de los accidentes.
- Accidentes, definido en capítulo 2.2.2.
- Lesión, es la consecuencia no deseada de los accidentes.

Esta teoría, a pesar de su antigüedad, ha sido de gran impacto y beneficio en la gestión de SST (DeCamp & Herskovitz, 2015; P.Purpura, 2019), siendo base para futuros modelos de accidentabilidad, como el modelo de causalidad de pérdidas de Bird (1985), el cual consideraba otros factores adicionales al factor humano.

Cabe indicar que, si bien la teoría no es muy compleja, ha sido validada en análisis de accidentabilidad recientes (Chi & Han, 2013).

**2.4.2.2. Causas Múltiples.** Teoría que proviene de la teoría del dominó, la cual ha sido respaldada por Bird (1985), quien indicaba que “los problemas y los acontecimientos que producen pérdidas son rara vez, si es que sucede, el resultado de una sola causa” (p.34). Cortés (2012), quien llama a este principio de multicausalidad, indica que las causas actúan de manera simultánea y que este principio es el que explica los distintos tipos de accidentes, ya que cada uno se genera por una combinación de causas diversas.

**2.4.2.3. Casualidad Pura.** Según esta teoría, todos los trabajadores de un determinado grupo específico tienen la misma probabilidad de sufrir un accidente. Según esta teoría, todos los accidentes son hechos fortuitos y que no existe intervenciones para prevenirlas (OIT, 1998). Esta teoría no es considerada en el presente estudio debido a que el objetivo del presente estudio es establecer una metodología para la prevención de accidentes, lo cual hace que se considere que se pueden tomar acciones para prevenirlos.

**2.4.2.4. Probabilidad Sesgada.** La teoría indica que una vez que un trabajador ha sufrido un accidente, la probabilidad de que vuelva a sufrir un accidente cambia, ya sea aumentando o disminuyendo. Esta teoría contribuye de manera casi nula a la prevención de accidentes por lo que no es considerada en el presente estudio.

**2.4.2.5. Propensión al Accidente.** La teoría indica que existen trabajadores que son propensos a los accidentes. La primera vez que se mencionó, según Salminen (2001), fue por Greenwood y Woods (1919) quienes mencionaron que “los accidentes ocurren a un número limitado de individuos que tienen una especial susceptibilidad a los accidentes”. Si bien muchos expertos han indicado que alrededor del 20% de las personas tienen la mayoría de los accidentes (P.Purpura, 2019), Salminen indica que la teoría ha sido criticada por motivos teóricos y empíricos, ya que se basa en el supuesto incorrecto de exposición homogénea del riesgo, supuesto que es similar a la teoría de la casualidad pura.

**2.4.2.6. Transferencia de Energía.** Gibson (1961), como lo indicó Sousa et al. (2014) menciona que esta teoría considera que los accidentes son causados por una transferencia de diversas formas de energía no deseada entre la fuente y una estructura susceptible, entre ellas las

personas. Esta teoría es útil para identificar los peligros y riesgos y medidas a implementar en el sistema de gestión SST.

Esta teoría está asociada al modelo epidemiológico, haciendo un símil entre las lesiones ocurridas por accidentes y las enfermedades. Haddon et al. (1964) indicaba que había tres factores para explicar los accidentes: huésped (persona lesionada), agente (la energía que conduce a la lesión) y el ambiente, ya sea físico, biológico u organizacional. (Khanzode, Maiti, & Ray, 2012)

**2.4.2.7. Síntomas Frente a las Causas.** No es tanto una teoría, ya que está asociada con otras como la del dominó, ya que indica que “las situaciones y los actos peligrosos (causas próximas) son los síntomas y no las causas fundamentales de un accidente.”

Otra teoría, más moderna es la siguiente:

**2.4.2.8. Enfoque de Sistema Holístico.** Menciona el considerar a la organización como un todo, teniendo varios factores que las puedan afectar y por lo tanto generar un accidente. Se basa en que son varios los factores que pueden afectar un sistema. Sin embargo, es necesario realizar un análisis cuantitativo para explicar mejor esta teoría. (Khanzode, Maiti, & Ray, 2012)

### **2.4.3. Otras Variables**

Schwarz (2017) identificó otros patrones no tradicionales que guardan influencia con la ocurrencia de accidentes en la minería peruana, los cuales son:

**2.4.3.1. Grado de Complejidad de la Operación.** Esta es la principal variable en la ocurrencia de accidentes fatales debido a su relación con el grado de control en las operaciones (supervisión). Cabe indicar que esta

variable incluye aspectos geotécnicos y geomecánicos, los cuales están asociados a la prevención de accidentes de tipo “desprendimiento de rocas” y “atrapado por derrumbe, deslizamiento, soplado de mineral o desmonte”; siendo el accidente mortal de tipo desprendimiento de rocas el de mayor porcentaje (25%) en la minería entre los años 2007 y 2019 según los datos de OSINERGMIN expresados en la Tabla 2. Además, en el sujeto de estudio, los dos (02) accidentes mortales ocurridos en el 2017 fueron de tipo atrapado por derrumbe, deslizamiento, soplado de mineral o desmonte.

**Tabla 2.** Número y porcentaje de accidentes mortales por tipo entre los años 2007 y 2019.

<b>Tipo de Accidente Mortal</b>	<b>Accidentes Mortales 2007 – 2019</b>	<b>Porcentaje</b>
Desprendimiento de rocas	126	25.3%
Choques contra o atrapado en o golpes por vehículo motorizado (tránsito vehicular).	79	15.9%
Choques contra o golpes por objetos durante el carguío y descarga de mineral/desmonte	60	12.0%
Exposición a, o contacto por inhalación con gases tóxicos/asfixiantes (ventilación deficiente)	53	10.6%
Caída de personas	43	8.6%
Atrapado por derrumbe, deslizamiento, soplado de mineral o desmonte	34	6.8%
Otros	29	5.8%
Exposición a, o contacto con energía eléctrica	24	4.8%
Choques contra o golpes por objetos durante el manipuleo de materiales.	11	2.2%
Atrapado en chutes o tolvas y otros durante desatoro	10	2.0%

<b>Tipo de Accidente Mortal</b>	<b>Accidentes Mortales 2007 – 2019</b>	<b>Porcentaje</b>
Atrapado por o golpes por maquinarias en movimiento	10	2.0%
Atrapado por succión de mineral/desmonte	8	1.6%
Golpes por herramientas	4	0.8%
Golpes por objetos en detonación de explosivos	4	0.8%
Exposición a, o contacto con tormentas eléctricas (caída de rayo)	3	0.6%
<b>TOTAL</b>	<b>498</b>	<b>100%</b>

Nota: Adaptado de Análisis Estadístico de Seguridad y Compendio Ilustrativo de Accidentes en el Sector de Mediana Minería y Gran Minería, OSINERGMIN (2013-2019).

**2.4.3.2. Antigüedad Laboral.** Existe una fuerte relación entre la ocurrencia de accidentes y el personal con una antigüedad no mayor a dos (02) años y mayor a cinco (05) años, los cuales representan el 62.4% y 19.9% del personal involucrado en accidentes mortales en la minería entre los años 2007 y 2019 según los datos de OSINERGMIN expresados en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Número y porcentaje de accidentes mortales por tiempo de servicios entre los años 2007 y 2019.

<b>Tiempo de Servicios</b>	<b>Accidentes Mortales 2007 – 2019</b>	<b>Porcentaje</b>
0-1 años	229	46.0%
1-2 años	82	16.5%
2-3 años	37	7.4%
3-4 años	29	5.8%
4-5 años	22	4.4%

Tiempo de Servicios	Accidentes Mortales 2007 – 2019	Porcentaje
5-10 años	46	9.2%
10-15 años	19	3.8%
15-20 años	7	1.4%
20-25 años	11	2.2%
25-30 años	4	0.8%
Más de 30 años	12	2.4%
<b>TOTAL</b>	<b>498</b>	<b>100%</b>

Nota: Adaptado de Análisis Estadístico de Seguridad y Compendio Ilustrativo de Accidentes en el Sector de Mediana Minería y Gran Minería, OSINERGMIN (2013-2019).

**2.4.3.3. Disponibilidad de Equipos y Controles.** Esta variable se refiere al riesgo que supone no contar con los equipos apropiados, utilizar equipos inadecuados o no disponer de equipos y controles apropiados. Esta variable tiene una fuerte influencia en la ocurrencia de accidentes mortales en la industria minera explicando cerca del 25% de la relación causa-efecto para mantener un nivel de riesgo aceptable.

**2.4.3.4. Índices de Accidentabilidad Previos.** Si bien esta variable está relacionada con otros factores, sí se ha evidenciado una correlación entre la accidentabilidad y la intensidad de accidentes previos.

**2.4.3.5. Clima Laboral de la Organización.** Incluye aspectos como la carga laboral, la relación jefe-supervisor, las remuneraciones y otras variables de compleja medición y registro que no necesariamente son reportadas de manera apropiada a las entidades regulatorias en el Perú, lo que complica tener un indicador adecuado relacionado a SST.

## **2.5. Modelos de Accidentabilidad**

Gui et al. (2020) clasifica los modelos de accidentabilidad en lineales y no lineales, estos últimos los subdivide en:

- Basados en el ser humano.
- Basados en estadísticas.
- Basados en la energía.
- Basados en sistemas.

Cabe indicar que, en la actualidad, los métodos más usados son los lineales y los basados en sistemas, aun así, se hace un repaso por los modelos más usados en SST o en el sector específico (minería) con la finalidad de repasar los aportes a la prevención de accidentes.

### **2.5.1. Modelo de Lawrence**

El modelo de Lawrence (1974), como lo cita Gui et al. (2020), es un modelo basado en el ser humano. Lawrence realizó un estudio de 405 accidentes con 424 muertes en minas de oro sudafricanas y en base a esto planteó su modelo de accidentabilidad. El modelo indica lo siguiente:

1. Se produce un peligro que genera una advertencia en las personas, la cual se denomina advertencia inicial.
2. Después de la advertencia inicial, el error de un trabajador en percibir, identificar o responder a la advertencia genera un accidente de trabajo.
3. El trabajador puede no evaluar el riesgo asociado al peligro, pero si toma acción, puede evitar el accidente de trabajo.
4. Al tomar acción, generará una advertencia al personal circundante, denominada segunda advertencia.
5. El resto de trabajadores responderá a la segunda advertencia.
6. Si se genera un accidente sin una advertencia inicial, es síntoma de una mala gestión de SST.

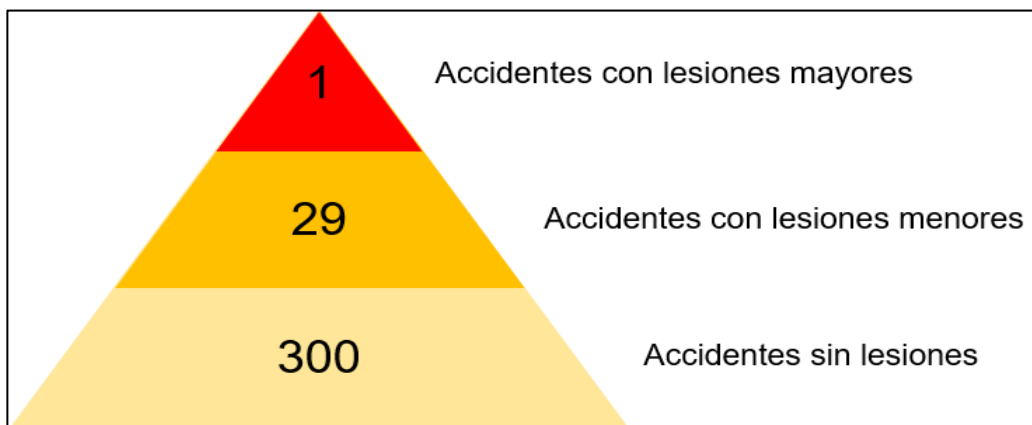
Gui et al. indican que el modelo es adecuado para operaciones mineras similares, donde intervienen varios roles, y que, en la mayoría de estos casos, la acción para evitar el peligro es la evacuación. Esta acción es una de las medidas recomendadas por el RSSO en minería.

### 2.5.2. Pirámides

Las pirámides de seguridad son un modelo de accidentabilidad basado en estadísticas. J.M. Cortes (2012) al explicar los costos de seguridad, menciona dos pirámides de seguridad.

**2.5.2.1. Pirámide Heinrich.** En el año 1931 H.W. Heinrich publicó su libro “Prevención de Accidentes Industriales: Un enfoque científico” en el cual indicó que, por cada 330 accidentes, 300 son casi accidentes, 29 son accidentes menores y 1 es un accidente serio (lesión con pérdida de tiempo) como se puede ver en la Figura 7.

**Figura 7.** Pirámide de Heinrich.

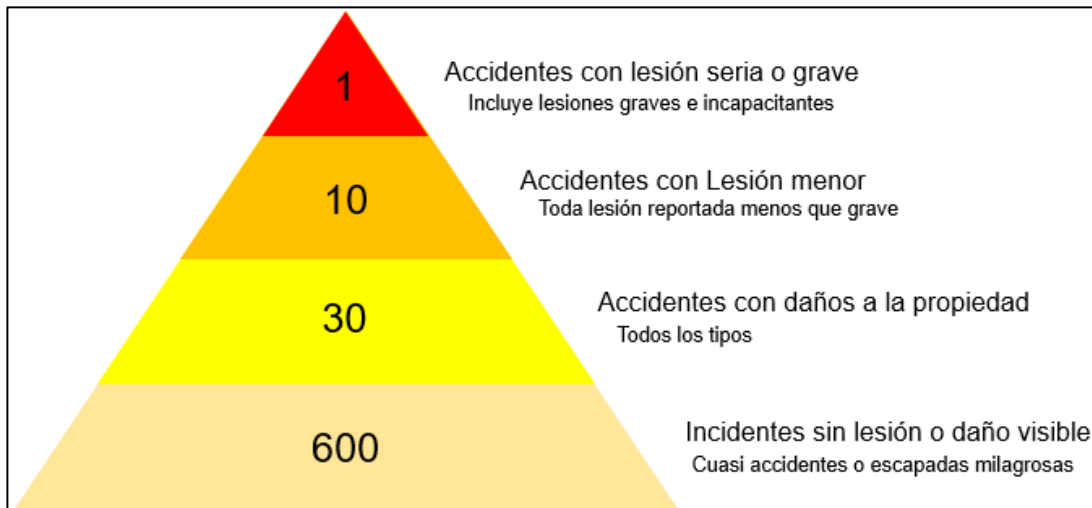


Nota: Seguridad e Higiene en el Trabajo. Técnicas de Prevención de Riesgos Laborales (2012), basado en J.W. Heinrich (1931).



**2.5.2.2. Pirámide de Bird.** La pirámide de Heinrich fue actualizada por Bird en el año 1969 al estudiar más de noventa mil accidentes ocurridos durante más de siete años en la empresa Lukens Steel Co. Con lo cual pudo concluir que, por cada 600 incidentes sin lesión o daño visible, se presentan 30 accidentes con daño a la propiedad, 10 accidentes con lesión menor y 1 accidente con lesión seria o grave, como se puede ver en la Figura 8. Cabe indicar que esta conclusión se da con los accidentes reportados y que estos no representan exactamente el número total de accidentes o incidentes.

**Figura 8.** Pirámide de Bird.



Fuente: Seguridad e Higiene en el Trabajo. Técnicas de Prevención de Riesgos Laborales (2012), basado en Bird (1969).

**2.5.2.3. Análisis de las Pirámides.** Los postulados de Heinrich han sido cuestionados a través del tiempo (Manuele, 2013), en relación a esto, Marshall et al. (2018), en base a un estudio que hicieron a 50000 empresas observadas a lo largo de 28 meses en Chile, confirmaron que la pirámide de Heinrich no es estadísticamente válida, es decir, que la proporción de 300-29-1 cambia cuando el número total de accidentes disminuye. Sin embargo, también menciona que un cambio en el número de accidentes menores es un indicio de un cambio en el número de accidentes mayores, por lo que la

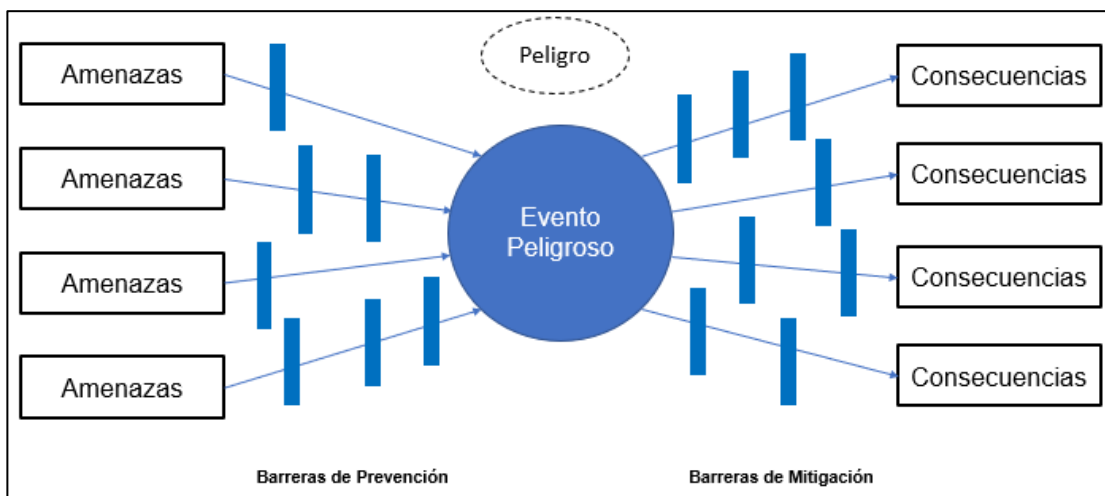
pirámide puede ser usada como una herramienta de evaluación ya que genera alertas creíbles sobre la ocurrencia de accidentes mayores.

Esto guarda relación con lo que menciona Bird (1985), quien indica que la proporción de su pirámide no es necesariamente la misma para otro grupo o alguna organización en particular y que su finalidad es mostrar con claridad que no se debe enfocar los esfuerzos en los accidentes con lesión seria o grave, sino también en aquellos accidentes o incidentes que se encuentran en los niveles inferiores. Además, indica también que las medidas para prevenir accidentes con lesiones serias o graves son más efectivas si es que antes se han investigado también las causas de incidentes con alto potencial de pérdida.

### 2.5.3. Bow Tie

El modelo Bow Tie, como lo cita Gui et al. (2020), es un modelo basado en la energía. El nombre de “bow-tie” proviene del gráfico que explica el modelo (Figura 9) el cual tiene la forma de un corbatín (bow-tie en inglés).

**Figura 9.** Modelo Bow Tie



Nota: Adaptado de "The bowtie method: A review" (A. de Ruijter & F. Guldenmund, 2016) y "Bow Tie Diagrams" (Crawley, 2020).

A. de Ruijter & Guldenmund (2016) menciona que más que un modelo "Bow Tie" existen diversos modelos "Bow Tie", cada uno con sus particularidades pero que existen ciertos elementos que son comunes en todos estos. Estos elementos, teniendo en cuenta también lo indicado por Crawley (2020), son:

- Evento Peligroso (Evento Top).
- Amenazas (Causas).
- Consecuencias.
- Barreras.

Estos elementos se originan en un peligro, el cual genera ciertas amenazas que pueden llevar al evento peligroso, el cual una vez ocurrido puede generar consecuencias que pueden afectar a un cuerpo receptor. Si el cuerpo receptor es la persona, se generaría un accidente de trabajo.

Para que las amenazas no lleguen a generar el evento peligroso y para que el mismo no llegue a generar las consecuencias, existen barreras. Las barreras del lado izquierdo son las que evitan el evento peligroso (barreras de prevención) y las del lado derecho son las que evitan las consecuencias del evento peligroso (barreras de mitigación).

Otro elemento común en los modelos "Bow Tie" es el sistema de gestión, del cual depende la eficacia de las barreras en ambos lados del evento peligroso (A. de Ruijter & F. Guldenmund, 2016).

El modelo Bow Tie puede ser usado también para la evaluación de riesgo de accidentes (Jacinto & Silva, 2010), así como para la predicción del riesgo de un evento en particular mediante estadística bayesiana (Liu, Zhai, & Liu, 2019). Esta diversidad de usos hace que los modelos Diagramas "Bow Tie" puedan ser usados

diversos rubros como el químico, energía, aviación, marina y gestión de factores humanos (Gui, Xuecai, Qingsong, Zonghan, & Pin, 2020).

#### **2.5.4. *Systems-Theoretic Accident Model and Processes (STAMP)***

El modelo STAMP como lo cita Gui et al. (2020), es un modelo basado en sistemas. El modelo fue nombrado por primera vez por Leveson (2004), quien menciona que los modelos basados en secuencia de eventos tienen varias limitaciones como:

- Factores organizacionales y sociales: Existe una pobre representación de factores como la debilidad de la estructura de la organización, deficiencias en la gestión y defectos en la cultura de seguridad.
- Sistema de accidentes y errores de software: En la actualidad buena parte de los sistemas de trabajo se encuentran asociados a un Software y en algunos casos, incluso el buen funcionamiento del Software es lo que genera el accidente.
- Error humano: No hay una clara definición de error, ya que este puede ser entendido como el incumplimiento de un procedimiento o estándar; pero a su vez este “incumplimiento” es una decisión del trabajador en base a lo que considera adecuado para el logro del objetivo de su trabajo en términos de efectividad.
- Adaptación a través del tiempo: No considerar la constante retroalimentación e información que puede surgir sobre los accidentes de trabajo.

Leveson indica que un accidente no se genera por una cadena de eventos, sino que son el resultado de un control o una aplicación inadecuada de las restricciones relacionadas con la seguridad en el desarrollo, el diseño y el funcionamiento del sistema por lo que estructura su modelo en tres componentes básicos, que son:

- El rol central de las restricciones en el sistema de seguridad
- Bucles de control y modelo de proceso

- Niveles de control socio técnicos.

### **2.5.5. Causalidad de Pérdidas**

Según Bird (1985), un accidente se origina debido a una cadena causal de hechos críticos, las cuales deben ser controladas para evitar una pérdida. Este modelo está basado en la teoría de dominó. Los hechos críticos explicados en la Figura 10, cuenta con los siguientes hechos críticos:

**2.5.5.1. Pérdida.** Resultado de un accidente. Las pérdidas pueden darse a la persona, propiedad o proceso. Según lo indicado en 2.2.3, el presente estudio incluye los tres tipos de pérdidas.

**2.5.5.2. Incidente.** Acontecimiento no deseado que puede o no resultar en una pérdida. Cuando resulta en pérdida, es denominado accidente. También se define como el contacto que podría causar o que causa la pérdida.

**2.5.5.3. Causas Inmediatas.** Son las circunstancias que se dan justo antes del contacto, las cuales son observables o se hacen sentir. Se dividen en actos y condiciones subestándares, los cuales son definidos por el D.S. N°005-2012-TR (2012) de la siguiente manera:

- **“Actos subestándares.** Es toda acción o práctica incorrecta ejecutada por el trabajador que puede causar un accidente.”
- **“Condiciones subestándares.** Es toda condición en el entorno del trabajo que puede causar un accidente.”

Bird (1985) indica que se nombra a los actos y condiciones como subestándares en lugar de inseguros porque se asocia más con la administración, disminuyendo el estigma acusador del concepto “acto

inseguro”. Además, indica que estos son solo síntomas y que se debe seguir buscando la verdadera causa de su ocurrencia.

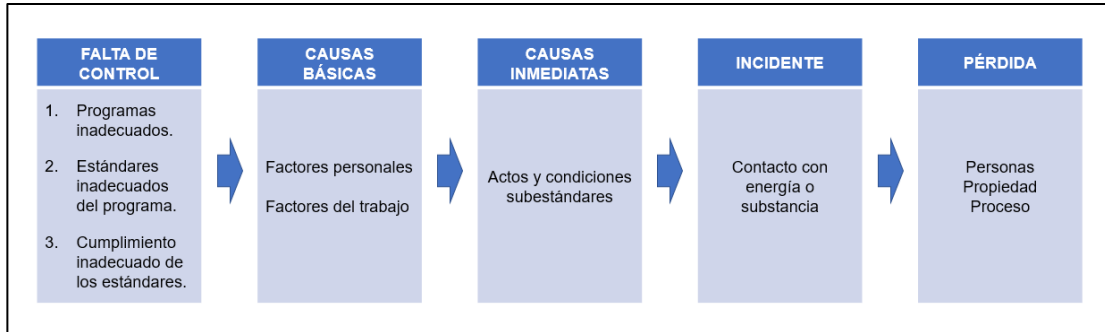
**2.5.5.4. Causa Básica.** Son aquellas razones por las que se generan las acciones inmediatas y que permiten un control administrativo significativo al ser identificadas. Se dividen en actos y condiciones subestándares, los cuales son definidos por el D.S. N°005-2012-TR (2012) de la siguiente manera:

- **“Factores personales:** Referidos a limitaciones en experiencias, fobias y tensiones presentes en el trabajador.” (p. 32)
- **“Factores de trabajo:** Referidos al trabajo, las condiciones y medio ambiente de trabajo: organización, métodos, ritmos, turnos de trabajo, maquinaria, equipos, materiales, dispositivos de seguridad, sistemas de mantenimiento, ambiente, procedimientos, comunicación, entre otros.” (p. 32)

**2.5.5.5. Falta de Control.** Definido por el D.S. N°005-2012-TR (2012) como “fallas, ausencias o debilidades administrativas en la conducción del empleador o servicio y en la fiscalización de las medidas de protección de la seguridad y salud en el trabajo” (p. 32). Según Bird (1985) las fallas de control se pueden dar por tres razones:

- Programa inadecuado.
- Estándares inadecuados del programa.
- Cumplimiento inadecuado de las normas.

**Figura 10. Modelo de Causalidad de Pérdidas.**



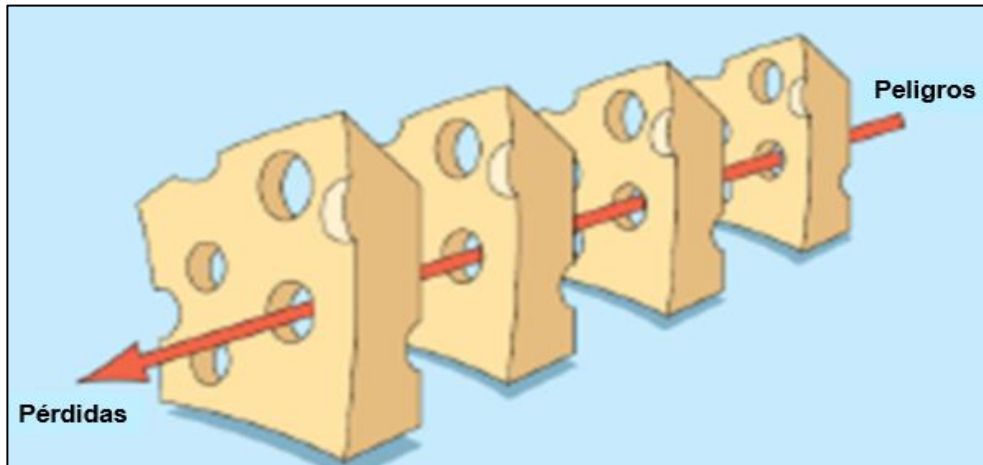
Nota: Adaptado de “Liderazgo práctico en el control de pérdidas” (Bird, 1985).

### 2.5.6. Modelo Del Queso Suizo

Es una de las versiones del modelo de accidente organizacional (OAM por sus siglas en inglés) planteado por primera vez en 1990 por James Reason y adquiere su nombre debido a la representación gráfica, como se puede ver en la Figura 11, realizada por Reason en el 2000 (Larouzee & Le Coze, 2020), en la cual explica, según lo mencionado por De Camp & Herskovitz (2015), que:

- Cada paso de un proceso tiene un potencial de fallo.
- Cada capa de defensa es representada por cada rebanada de queso suizo.
- Los posibles fallos de defensa son los agujeros del queso. Existen dos tipos de fallos:
  - Activos: Actos inseguros que contribuyen a la ocurrencia de accidente.
  - Latentes: Condición existente que puede permanecer inactiva por un tiempo hasta que conduce a un accidente.
- El tener un agujero más pequeño, evidencia una mejor defensa de la capa (Larouzee & Le Coze, 2020).
- Los agujeros deben alinearse para generar un accidente.
- Ninguna capa de defensa puede atrapar el problema.
- Si los agujeros no se alinean, entonces el problema se ha detectado y no ocurre ningún accidente.

**Figura 11.** *Modelo del Queso Suizo.*



Nota: Adaptado de “Good and bad reasons: The Swiss cheese model and its critics” (Larouzee & Le Coze, 2020).

Actualmente existen muchas críticas a este modelo, como su carácter “lineal” (Gui, Xuecai, Qingsong, Zonghan, & Pin, 2020), sin embargo, es el modelo más popular del mundo y de gran uso debido a varios factores como su práctica representación gráfica y entendimiento. (Larouzee & Le Coze, 2020).

### **2.5.7. SHIPP**

Rathnayaka et al. (2011) plantea el sistema de identificación de peligro, predicción y prevención (SHIPP) el cual cuenta con cinco (05) etapas:

**2.5.7.1. Definición del Sistema.** El primer paso es definir el sistema y sus límites, para lo cual se deben identificar los principales sub sistemas, funciones, interacciones y sus dependencias.

**2.5.7.2. Identificación de Peligro y Análisis.** El segundo paso es identificar todos los peligros dentro del sistema y analizar como estos peligros podrían generar un accidente en base a su severidad, probabilidad y la eficacia de las barreras existentes (evaluación de riesgo). Cabe indicar



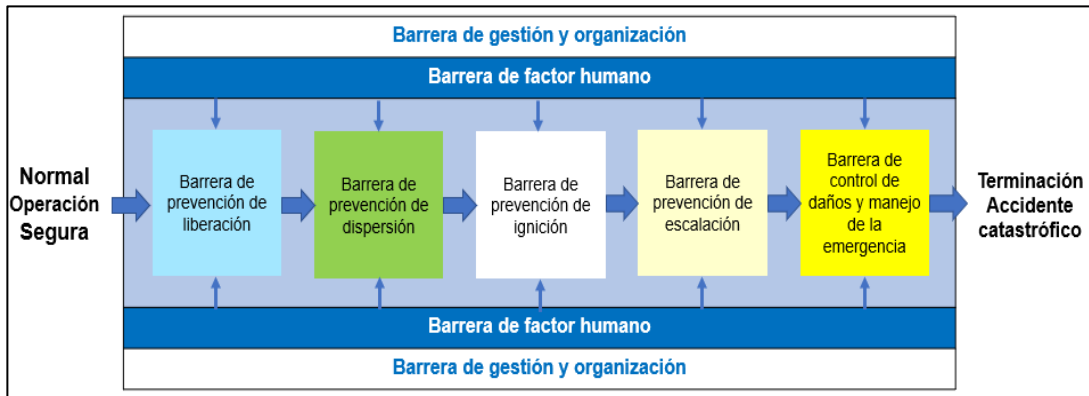
que según este método existen tres (03) tipos de peligro: el ocupacional, externo y el de proceso, centrando su estudio solo a este último.

**2.5.7.3. Modelación de Accidente y Predicción.** El método indica que para que se produzca el accidente se deben superar cinco barreras en conjunto con la barrera de factor humano y la de gestión y organización, las cuales se presentan en todo momento, como se puede ver en la Figura 12.

Las cinco barreras son:

- Barrera de prevención de liberación.
- Barrera de prevención de dispersión.
- Barrera de prevención de ignición.
- Barrera de prevención de escalación.
- Barrera de control de daños y manejo de la emergencia.

**Figura 12.** Modelo de Accidente SHIPP.



Nota: Adaptado de "SHIPP methodology: Predictive accident modeling approach. Part I: Methodology and model description" (Rathnayaka, Khan, & Amyotte, 2011).

La modelación se elabora en base a árboles de causa y árboles de eventos; dando como resultado información cuantitativa (probabilidades) y cualitativa que ayuda a identificar los posibles fallos en las barreras. Una vez obtenida las probabilidades de ocurrencia de los escenarios de accidente identificados en el paso anterior, se calcula la probabilidad de fallo de cada barrera. Al tener estas probabilidades, se puede determinar

la probabilidad del accidente ya que se considera a las barreras como sub sistemas del sistema previamente definido.

**2.5.7.4. Actualización, Toma De Decisiones, Implementación de Estrategias de Prevención de Accidentes.** Mediante un mecanismo bayesiano, se recomienda realizar la actualización del modelo planteado con la finalidad de disminuir su incertidumbre, lo cual guiará en la toma de decisiones para la prevención de accidentes.

Cabe indicar que una limitación de este modelo es que su desarrollo ha sido orientado a la industria de petróleo y gas (Gui, Xuecai, Qingsong, Zonghan, & Pin, 2020).

Actualmente, a nivel mundial los modelos basados en sistemas están tomando mayor preponderancia (Grant, Salmon, Stevens, Goode, & Read, 2018) debido a las limitaciones de los modelos lineales como el de causalidad de pérdidas (ver 2.6.4), sin embargo, la normativa peruana usa los mismos conceptos en la investigación de accidentes que este modelo, lo que genera que este modelo sea usado en el sujeto de estudio.

## **2.6. Gestión de Riesgos**

Según la ISO 31000 (2018) la gestión de riesgos son las “actividades coordinadas para dirigir y controlar la organización con relación al riesgo” (p. 1); aunque, cabe indicar que esta definición abarca todo tipo de riesgos, no solo los de SST. En cambio, la definición del D.S. 005-2012-TR (2012) sí está enfocada en los riesgos de SST e indica que la gestión de riesgos “Es el procedimiento que permite, una vez caracterizado el riesgo, la aplicación de las medidas más adecuadas para reducir al mínimo los riesgos determinados y mitigar sus efectos, al tiempo que se obtienen los resultados esperados” (p. 34).

Si bien para Cortés, la identificación está incluida en la evaluación de riesgos, el D.S. 005-2012-TR maneja como separado tres etapas:

- Identificación de peligros.
- Evaluación de riesgos.
- Control de riesgos

### **2.6.1. Peligros y Riesgos**

El D.S. 005-2012-TR (2012) define al peligro como “situación o característica intrínseca de algo capaz de ocasionar daños a las personas, equipos, procesos y ambiente” (p.35), mientras que la definición de ISO 45001:2018 (2018) solo menciona la posibilidad de generar algún daño a la persona, lo cual es compartido con la definición de peligro de la OIT (2018).

El riesgo según D.S. 005-2012-TR (2012) es la “probabilidad de que un peligro se materialice en determinadas condiciones y genere daños a las personas, equipos y al ambiente” (p. 35), mientras que para ISO 45001:2018 (2018) el riesgo es el “efecto de la incertidumbre” (p. 6) y el riesgo para la SST es la “combinación de la probabilidad de que ocurran eventos o exposiciones peligrosos relacionados con el trabajo y la severidad de la lesión y deterioro de la salud que pueden causar los eventos o exposiciones” (p. 6).

### **2.6.2. Identificación de Peligros**

Definido según la D.S. 005-2012-TR como “Proceso mediante el cual se localiza y reconoce que existe un peligro y se definen sus características” (p. 34).

Existen varios métodos de identificación de peligros ( (Liu, Peng, Li, Zhao, & Qiu, 2021)), pero los que indican Cortés (2012) y la normativa legal aplicable

(Ministerio de Energía y Minas - MINEM, 2016) se basan en el método de Análisis de Tareas de Trabajo.

Cortés (2012) indica que antes de realizar la identificación de los peligros se debe realizar una clasificación de las actividades de trabajo, para lo cual se debe tener las siguientes consideraciones:

- El RSSO en Minería (2016) indica que la clasificación se debe hacer por proceso, actividad y tarea. En el sujeto de estudio, se hace también la clasificación por sub proceso.
- El D.S. 005-2012-TR (2012) indica que se debe hacer en cada puesto de trabajo.
- El D.S. 005-2012-TR y la ISO 45001 (2018) indican que debe considerarse las actividades rutinarias, no rutinarias y las situaciones de emergencia.

Luego de haber realizado la clasificación de actividades, se debe identificar los peligros con la participación de los trabajadores (RSSO en Minería) los cuales deben considerar, según el D.S. 005-2012-TR y la RSSO en minería, lo siguiente:

- Los peligros existentes o posibles en materia de SST que guarden relación con el medio ambiente de trabajo o con la organización del trabajo, como deficiencias en materiales, equipos, maquinarias e insumos de trabajo.
- Las condiciones de trabajo existentes o previstas.
- Sensibilidad del trabajador que ocupe el puesto.
- Problemas potenciales que no se previeron durante el diseño de las tareas.
- Deficiencias de acciones correctivas.
- Los efectos de los cambios.
- Acciones del trabajador.
- Los datos estadísticos recopilados producto de la vigilancia de la salud colectiva de las y los trabajadores.

Otros aspectos importantes a ser considerados en la identificación de peligros, según la ISO 45001 y Cortés (2012) son:

- Factores sociales
- Sucesos pasados
- Situaciones en las inmediaciones del lugar de trabajo.
- Cambios en el conocimiento e información de los peligros.
- Formación del trabajador.
- Procedimientos de trabajo.

La BS 45002-2 (2019) recomienda realizar la identificación de peligros mediante:

- Inspeccionar el lugar de trabajo.
- Conversar con los trabajadores.
- Leer información de proveedores.
- Considerar estadísticas de accidentabilidad (datos estadísticos).

### **2.6.3. Evaluación de Riesgos**

Definido según la D.S. 005-2012-TR (2012) como “proceso posterior a la identificación de los peligros, que permite valorar el nivel, grado y gravedad de los mismos proporcionando la información necesaria para que el empleador se encuentre en condiciones de tomar una decisión apropiada” (p. 33).

Según Cortés (2012), se divide en:

- Análisis del riesgo: Identificación de peligros y estimación del riesgo.
- Valoración del riesgo: Determinación si los riesgos son tolerables o no.

La ISO 31000 (2018), sin embargo, divide la evaluación de riesgos en:

- Identificación del riesgo
- Análisis del riesgo
- Valoración del riesgo

Como se pudo ver en 2.6.2, la identificación de peligros es vista como una etapa separada de la evaluación de riesgos por lo que se iniciaría el análisis con la estimación del riesgo, sin embargo, el RSSO en minería (2016) requieren que exista una descripción del riesgo asociado a cada peligro, por lo que se toma la división indicada en la ISO 31000.

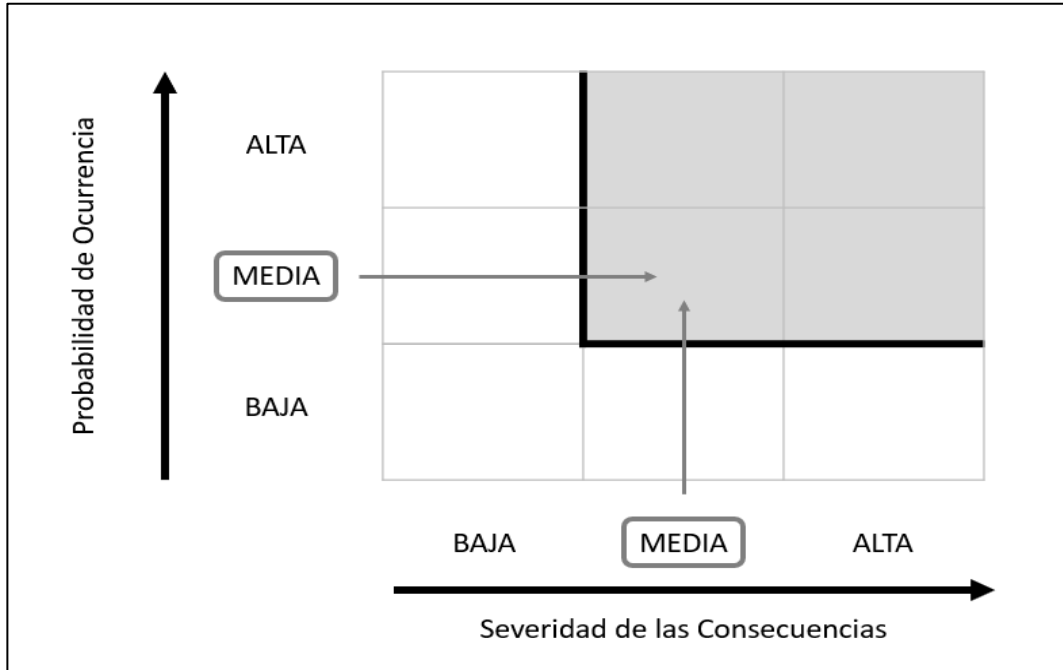
**2.6.3.1. Identificación de Riesgos.** Según la ISO 31000, esta subetapa tiene como propósito “encontrar, reconocer y describir los riesgos que pueden ayudar o impedir a una organización lograr sus objetivos” (p. 13), pero, para fines del presente estudio, la identificación de riesgos solo abarca el encontrar, reconocer y describir los riesgos previamente descritos en 2.6.1.

**2.6.3.2. Análisis del Riesgo.** Según la ISO 31000, esta subetapa tiene como propósito “comprender la naturaleza del riesgo y sus características incluyendo, cuando sea apropiado, el nivel del riesgo” (p. 13). El análisis de riesgo puede incluir varias consideraciones, como las indicadas por el D.S. 005-2012-TR:

- Resultados de las investigaciones de los accidentes de trabajo o enfermedades profesionales.
- Resultados de las evaluaciones de los factores de riesgo físicos, químicos, biológicos, ergonómicos y psicosociales.
- Controles existentes, indicado también por ISO 45001 (2018).

Otras consideraciones pueden ser, según ISO 31000, consecuencias, probabilidad, eventos y escenarios; siendo recomendado por la RM 050-2013-TR (2013), Cortés e ISO 45001; considerar un valor para la probabilidad (frecuencia y/u ocurrencia) y uno para la severidad (consecuencias y/o impacto) del riesgo para estimar un valor del riesgo, como se aprecia en la Figura 13.

**Figura 13.** Estimación del Riesgo mediante la Probabilidad y Severidad.



Nota: Adaptado de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Técnicas de Prevención de Riesgos Laborales (Cortés, 2012).

Si bien este es el método usado en minería peruana, cabe indicar que el análisis de riesgo se puede realizar de diferentes formas dependiendo del detalle, complejidad, objetivo, recursos entre otros como lo indica la ISO 31000.

Una vez completado el análisis de los riesgos, esta información sirve de entrada para la toma de decisiones a realizarse en la valoración de riesgos.

**2.6.3.3. Valoración de Riesgos.** Según la ISO 31000, esta subetapa tiene como propósito apoyar la toma de decisiones mediante la comparación del resultado del análisis del riesgo con un criterio de riesgo establecido (riesgo que puede o no tomar) para determinar si es necesario o no la toma de alguna acción adicional para controlar el riesgo. Este criterio de riesgo es establecido según el contexto de la organización.

Según la Figura 13, los riesgos dentro del espacio sombreado son los que requieren una acción adicional, siendo la línea negra el criterio de riesgo.

Cortés indica que, si el riesgo no es tolerable, deberán tomarse acciones para la disminución o eliminación del riesgo mediante la disminución de la probabilidad (frecuencia y/u ocurrencia) y/o la severidad (consecuencias y/o impacto) del riesgo. Si las acciones están destinadas a disminuir la probabilidad serán denominadas de prevención y si están destinadas a disminuir la severidad, serán denominadas de protección.

#### **2.6.4. Control de Riesgos**

Definido según la D.S. 005-2012-TR como “el proceso de toma de decisiones basadas en la información obtenida en la evaluación de riesgos” (p. 33).

El control de riesgos, denominado como tratamiento de riesgos por la ISO 31000, consiste en la selección e implementación de la acción para abordar el riesgo. Este proceso no solo incluye la toma de acción sino también su seguimiento (Cortés, 2012), el cual incluye la determinación de la eficacia de la acción y si aún es necesario la toma de otra acción adicional (ISO, ISO 31000 Gestión del Riesgo - Directrices, 2018).

La RSSO en minería y la ISO 45001 indican que el control de riesgos deberá seguir la siguiente jerarquía:

- Eliminación del peligro.
- Sustitución del peligro mediante la sustitución de proceso, operaciones, materiales o equipos menos peligrosos.
- Controles de ingeniería y reorganización del trabajo.
- Señalización, alertas y/o controles administrativos (incluida la formación).
- Equipos de Protección Personal (EPP), adecuados para el tipo de actividad.



## 2.7. Técnicas de Seguridad

Cortés (2012) indica que las técnicas de seguridad incluyen el conjunto de acciones destinadas a “suprimir el peligro, reducir el riesgo y proteger al operario o la máquina para evitar el accidente o las consecuencias del mismo (control del riesgo)” (p. 124). Las técnicas pueden dividirse, similar a los indicadores, en reactivas y activas (retrasados y adelantados), aunque existen otras clasificaciones según diversos criterios, como lo indica la Tabla 4.

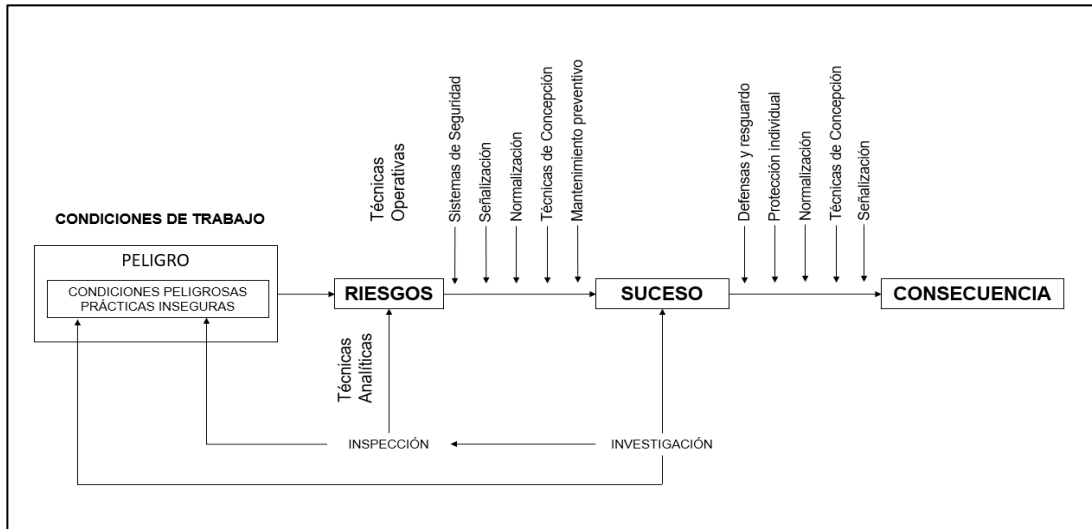
**Tabla 4.** Clasificación de técnicas de seguridad.

<b>Criterio</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Detalle</b>
<b>Alcance</b>	Generales	Aplicadas en cualquier tipo de riesgo.
	Específicas	Limitadas a riesgos o sectores concretos.
<b>Forma de actuación</b>	Prevención	Actúan antes del suceso.
	Protección	Actúan después del suceso.
<b>Lugar de aplicación</b>	Concepción	Aplicadas antes de la creación de condiciones, ambientes y/o métodos de trabajo.
	Corrección	Aplicadas en condiciones de trabajo ya existentes.
<b>Objetivo</b>	Analíticas	Se centra en la identificación de peligros y evaluación de riesgos.
	Operativas	Se centra en el control de los riesgos.
<b>Causas</b>	Factor técnico	Actúa en las condiciones de trabajo.
	Factor humano	Actúa en los actos de los trabajadores.

Nota: Adaptado de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Técnicas de Prevención de Riesgos Laborales (Cortés, 2012).

Cortés (2012) indica que la modalidad básica de actuación de las técnicas es la de poder actuar en cualquiera de las siguientes etapas: identificación de peligros, evaluación y control del riesgo como se explica en la Figura 14.

**Figura 14.** *Técnicas de Seguridad en la Gestión de Riesgo.*



Nota: Adaptado de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Técnicas de Prevención de Riesgos Laborales (Cortés, 2012).

Debido a su relación con este modelo de actuación y con la gestión de riesgos, se detallan las técnicas según su clasificación por objetivo.

### 2.7.1. *Técnicas Analíticas*

Cortés (2012) indica que las técnicas analíticas son aquellas que actúan durante la identificación de peligros y evaluación de riesgos y pueden ser anteriores o posteriores al accidente, siendo las siguientes técnicas:

- Inspección de seguridad
- Análisis de trabajo
- Análisis estadísticos
- Notificación y registro de accidentes.

- Investigación de accidentes.

**2.7.1.1. Inspección de Seguridad.** Definido por el D.S. 005-2012-TR como “Verificación del cumplimiento de los estándares establecidos en las disposiciones legales. Proceso de observación directa que acopia datos sobre el trabajo, sus procesos, condiciones, medidas de protección y cumplimiento de dispositivos legales en seguridad y salud en el trabajo” (p. 34).

Cortés menciona que las inspecciones se pueden clasificar según distintos criterios, como se indica en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Clasificación de inspecciones de seguridad.

<b>Criterio</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Detalle</b>
<b>Finalidad</b>	Ordinarias	Tiene como objetivo la revisión periódica.
	Extraordinarias	Realizadas por un motivo no previsto.
<b>Método</b>	Formales	Previamente planificadas.
	Informales	Motivadas por alguna causa espontánea.
<b>Origen</b>	Propia empresa	Realizadas de acuerdo a lo indicado por el servicio de SST.
	Entidad ajena	Realizadas por aseguradoras, organismos fiscalizadores entre otros.

Nota: Adaptado de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Técnicas de Prevención de Riesgos Laborales (Cortés, 2012).

Cortés indica que las inspecciones actúan detectando las causas de accidentes y realizando la estimación del riesgo con la finalidad de establecer las acciones para el control de riesgo, siendo parte de la gestión de riesgos. Esto ayuda a la disminución de accidentes de trabajo mediante cambios en la gestión de los peligros, sobre todo cuando existe una

comunicación sobre la acción a implementar para corregir lo observado en la inspección (Macpherson, Yousefi, & McLeod, 2021).

Sin embargo, Oliveira Rey et al. (2021) menciona que existen algunos factores que reducen la eficiencia y eficacia de las inspecciones como la gran cantidad de trabajo para la recopilación de datos, la pérdida de información entre la recopilación de datos y su procesamiento y la dificultad de proponer acciones correctivas a tiempo real; lo cual ha originado propuestas apoyadas en la tecnología como la del mismo Oliveira Rey et al. (2021), que ayudan a eliminar estos factores.

**2.7.1.2. Análisis de Trabajo.** Según la OIT (2005), consiste en un conjunto de análisis de empleos, el cual es un “proceso pormenorizado y sistemático que consiste en desglosar el trabajo que se realiza en una serie de diferentes tareas y obligaciones” (p. 9). Según Cortés (2012), este análisis deberá no solo considerar la seguridad, sino también la calidad y productividad del trabajo con la finalidad de obtener lo siguiente:

- Mejora de métodos de trabajo.
- Adecuación de la persona al puesto.
- Valoración del puesto.
- Adiestramiento del personal.
- Análisis de riesgos.

**2.7.1.3. Análisis Estadísticos.** Consiste en todos los análisis realizados a través de la explotación de datos obtenidos en estudio de riesgos (Cortés, 2012). Los análisis pueden ser descriptivos (gráficas, tablas e indicadores) o inferenciales, dentro de los cuales se encuentra las predicciones (Salazar P. & Del Castillo G., 2018).

Precisamente, el análisis de las predicciones, el análisis predictivo, puede ser de gran utilidad en la SST ya que permitiría la toma de acción más precisa (Warner, 2014).

Debido a su extensión, el análisis predictivo como técnica de seguridad es analizado de manera separada al igual que el principio de Pareto.

**2.7.1.4. Notificación y Registro de Accidentes.** La notificación es la comunicación formal de un accidente de trabajo y tiene como finalidad de recopilar toda la información que pueda servir para evitar accidentes en un futuro. El registro se da mediante la extracción de datos que serán útiles para un análisis estadístico (Cortés, 2012).

Cabe indicar los datos a ser registrados están reglamentados por la ley 29783, D.S. 005-2012-TR, R.M. 050-2013-TR y el RSSO en minería.

**2.7.1.5. Investigación de Accidentes.** El D.S. 005-2012-TR define a la investigación de accidente e incidentes como “proceso de identificación de los factores, elementos, circunstancias y puntos críticos que concurren para causar los accidentes e incidentes” (p. 34) indicando que su finalidad es identificar la causa del suceso, permitiendo la toma de acciones correctivas previniendo la recurrencia del accidente o incidente.

Algunos factores a tener en cuenta para la investigación según Cortés (2012) son:

- Selección de casos: Cortés (2012) indica que no todos los sucesos podrán ser investigados debido a su imposibilidad material priorizando los accidentes mortales, accidentes incapacitantes y algunos leves dependiendo de su potencial y frecuencia. Sin embargo, Bird (1985) recomienda realizar la investigación a todos los

sucesos, siendo más exhaustivos en aquellos con un alto potencial de pérdida.

- Profundidad de la investigación: En algunos casos será necesario la participación de personal o instituciones especializadas.
- Selección de datos: Se deben tomar todos los datos necesarios que ayuden a determinar la causa del suceso. La R.M. 050-2013-TR menciona que como mínimo se deben tener los siguientes datos:
  - Datos del trabajador: Nombres, edad, antigüedad, puesto, turno, tipo de contrato y número de horas trabajadas.
  - Datos del suceso: Fecha, hora, lugar, parte de cuerpo afectada, tipo de suceso y días de descanso médico si aplica.
  - Descripción de suceso: Hechos objetivos del suceso pudiéndose adjuntar las declaraciones y todos los datos que ayuden a la investigación.
  - Descripción de causas: Se puede usar cualquier modelo de determinación de causas.
  - Medidas Correctivas: Descripción de medidas correctivas, plazos, responsables y estado de ejecución.

El Sistema Internacional de Calificación de Sostenibilidad en la primera revisión de su séptima edición (DNV, 2006), en adelante ISRS, indica que también se deben recopilar también la siguiente información:

- Acciones iniciales tomadas
- Evaluación de gravedad potencial y probable frecuencia de repetición.
- Identificación de causas inmediatas y básicas.
- Identificación de falta de control.
- Costos reales y estimación de costo potencial.
- Necesidad de notificar a las autoridades.

- Acciones correctivas, hacia las causas inmediatas, y preventivas, hacia las causas básicas.
- Persona encargada de realizar la investigación: Según la ISRS, deben participar las siguientes personas:
  - Supervisor de línea y/o líder de quipo.
  - Gerentes de nivel medio o superior en aquellos de alto potencial.
  - Trabajadores y representantes, como lo indica también el D.S. 005-2012-TR.
- Características de la investigación: Se consideran las siguientes características:
  - Cualidades del investigador: Sentido común, conocimiento de los procesos y formación en técnicas de investigación (DNV, 2006).
  - Requisitos de la investigación: Prontitud, objetividad, interrogatorios individuales, analizar por separado el factor humano y el técnico (Cortés, 2012).
- Aspecto formal de la investigación: Recopilar los datos según lo indicado previamente.
- Análisis de datos y determinación de causas: En base a los datos recopilados se deberá determinar las causas. Según la R.M. 050-2013-TR se puede usar cualquier modelo y en el sujeto de estudio se utiliza la Técnica de análisis sistemático de causas Versión 8.2 (SCAT en adelante), la cual se detalla en la Tabla 6.

Como se ha visto, la investigación es una fuente importante de datos los cuales pueden ser utilizados en la gestión de SST, teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones según Benner Jr. (2019):

- Definir los atributos de los datos a ser utilizados.
- Garantizar la compatibilidad e idoneidad de los datos antes de usarlos.

- No usar datos afectados por la subjetividad (acusación, abstracción, etc.).



Tabla 6. SCAT.

TIPO EVENTOS			
1. Golpeado contra (corriendo hacia/tropezando contra /goleándose/estrellándose)	7. Contacto con electricidad	13. Pérdida de contención primaria	20. Falla de estructura civil
2. Golpeado por (impactado por objeto en movimiento)	8. Exposición al ruido	14. Emisión ambiental (aire/agua/suelo)	21. Operación anormal/trastorno de proceso
3. Caída a un nivel más bajo (persona/equipo/materiales)	9. Exposición a la vibración	15. Incendio [charco de líquido inflamado/ dardo de fuego/fogonazo de gas inflamable)	22. Reacción en cadena
4. Caída al mismo nivel (resbalar y caer/tropezar)	10. Exposición a la radiación ionizante	16. Explosión (nube de vapor/polvo/explosión por presión/ BLEVE)	23. Quejas de calientes/partes interesadas
5. Atrapado en, por, entre o debajo	11. Sobre esfuerzo mecánico (por sobrecarga/exceso de presión)	17. Falla de equipo mecánico	24. Acto de violencia
6. Contacto con temperaturas extremas (calor/frío)	12. Contacto con sustancias/dosis peligrosas (tóxicas, corrosivas/carcinogénicas/agentes biológicos/virales)	18. Falla de sistema eléctrico	
		19. Falla de instrumentación/lógica/loop	
CAUSAS INMEDIATAS			
ACTOS SUBESTÁNDARES		CONDICIONES SUBESTÁNDARES	
1. Operar equipos sin autorización	12. Operación incorrecta de colocación	24. Condiciones inadecuadas de piso/superficie	36. Presencia de atmósfera explosiva/inflamable
2. Omisión de informar/advertir	13. Operación incorrecta de izado	25. Herramienta/equipo defectuoso	37. Presencia no autorizada de materiales peligrosos
3. Omisión de sujetar/bloquear/contener	14. Posición incorrecta para la tarea	26. Herramienta/equipo incorrecto/inadecuado	38. Desorden/aseo inexistente o deficiente
4. Operar a velocidad inadecuada	15. Comportamiento incorrecto/inadecuado	27. Integridad inadecuada del equipo	39. Nivel del ruido por encima del umbral
5. Desactivar o anular dispositivos críticos de seguridad	16. Bajo la influencia de medicación/alcohol/drogas	28. No detectar/medir	40. Peligro de radiación por encima del umbral
6. Uso de herramienta/ equipos/ maquinas/ dispositivos defectuosos	17. No seguir procedimiento/instrucciones	29. Medida/ conversión de señal inadecuada	41. Iluminación insuficiente/excesiva
7. Operación inadecuada de herramienta/ equipo/ maquina/ dispositivo	18. No identificar peligro	30. Material incorrecto	42. Vibración por encima del umbral
8. Mantenimiento inadecuada de equipo/maquina en funcionamiento	19. Acto subestándar por parte de agente externo (que no está bajo control propio)	31. Composición incorrecto de material/gas	43. Temperatura excede los límites
9. Uso de material incorrecto/inadecuado	20. No identificar requisitos de cliente/partes interesadas	32. Protección/barrera inadecuada	44. Exposición a altas temperaturas
10. No usar correctamente el equipo de protección personal-EPP	21. No cumplir los requisitos de clientes/partes interesadas	33. EPP inadecuado/incorrecto	45. Ventilación inadecuada
11. Operación incorrecta de carga	22. Disturbios civiles (motines, revueltas, guerra)	34. Espacio para efectuar limitado/congestionado	46. Información inadecuada
	23. Actividad delictiva	35. Sistema de advertencia inadecuada	47. Exposición a condiciones climáticas adversas

## CAUSAS BÁSICAS

### FACTORES PERSONALES

#### 1. CAPACIDAD FÍSICA

- 1.1. Estructura/peso/tamaño/fuerza/enlace, etc.  
Inadecuados
- 1.2. Rango limitado de movimiento corporal
- 1.3. Capacidad limitada/incapacidad para mantener posiciones del cuerpo
- 1.4. Sensibilidad/alergia a sustancias
- 1.5. Sensibilidad a extremos sensoriales (temperatura, sonido, etc.)
- 1.6. Deficiencia visual
- 1.7. Deficiencia auditiva
- 1.8. Otras deficiencias sensoriales (tacto, gusto, olfato, equilibrio)
- 1.9. Incapacidad respiratoria
- 1.10. Otras incapacidades físicas permanentes
- 1.11. Incapacidad temporaria

#### 2. CAPACIDAD MENTAL/PSICOLÓGICA

- INADECUADA
  - 2.1. Miedos fobias
  - 2.2. Trastorno emocional
  - 2.3. Enfermedad mental
  - 2.4. Nivel de inteligencia
  - 2.5. Incapacidad para comprender
  - 2.6. Poca coordinación
  - 2.7. Tiempo de reacción lenta
  - 2.8. Poca aptitud mecánica
  - 2.9. Poca aptitud para el aprendizaje
  - 2.10. Falla/lapso de memoria
- #### 3. ESTRES FÍSICO/FISIOLÓGICO
- 3.1. Lesión o enfermedad
  - 3.2. Fatiga debido a la carga o duración a la tarea
  - 3.3. Fatiga debido a la falta de descanso
  - 3.4. Fatiga debido a la sobrecarga sensorial
  - 3.5. Exposición a peligro para la salud
  - 3.6. Exposición a temperaturas extremas
  - 3.7. Deficiencia de oxígeno
  - 3.8. Variación de presión atmosférica
  - 3.9. Movimiento restringido
  - 3.10. Insuficiencia de azúcar en sangre
  - 3.11. Estrés autoimpuesto por alcohol/drogas/otros

#### 4. ESTRÉS MENTAL/PSICOLÓGICO

- 4.1. Sobrecarga emocional
- 4.2. Fatiga debido a la velocidad o carga de trabajo mental
- 4.3. Exigencia extrema de discernimiento/decisión
- 4.4. Demasiadas tareas rutinarias, aburridas/ monótonas/ de rutina
- 4.5. Exigencia extrema de concentración/percepción
- 4.6. Actividades "sin sentido" o "degradantes"
- 4.7. Exigencias/instrucciones confusas
- 4.8. Exigencias/ instrucciones contradictorias
- 4.9. Preocupación/distracción debido a problema
- 4.10. Frustración
- 4.11. Enfermedad mental

#### 5. FALTA DE COMPETENCIA

- 5.1. Experiencia inadecuada
- 5.2. Inadecuada orientación/inducción
- 5.3. Inadecuada capacitación inicial
- 5.4. Inadecuada actualización/ capacitación de repaso
- 5.6. Falta de conciencia sobre entorno/ percepción del riesgo/ conciencia del riesgo
- 5.7. Inadecuada instrucción inicial/entrenamiento de habilidades
- 5.8. Inadecuada practica
- 5.9. Desempeño poco frecuente
- 5.10. Inadecuado coaching
- 5.11. Inadecuada revisión de instrucción

#### 6. MOTIVACIÓN INCORRECTA

- 6.1. Desempeño/comportamiento incorrecto es tolerado o premiado
- 6.2. Desempeño/comportamiento correcto es desalentado o castigado
- 6.3. Falta de incentivo
- 6.4. Incentivo de producción incorrecto
- 6.5. Incentivo de reducción de costos incorrectos
- 6.6. Frustración excesiva
- 6.7. Agresión indebida
- 6.8. Intento incorrecto de ahorrar tiempo/esfuerzo
- 6.9. Intento incorrecto de evitar incomodidad
- 6.10. Intento incorrecto de llamar la atención
- 6.11. Disciplina inadecuada
- 6.12. Presión indebida de los compañeros
- 6.13. Ejemplo de liderazgo incorrecto
- 6.14. Inadecuada retroalimentación del desempeño
- 6.15. Refuerzo inadecuado de la conducta correcta
- 6.16. Abuso (intencional)
- 6.17. Mal uso (no intencional)

## CAUSAS BÁSICAS

### FACTORES DEL TRABAJO

7. ESTRUCTURA ORGANIZATIVA POCA CLARA	10. INADECUADA ADMINISTRACIÓN DE CAMBIO	12. INADECUADO MANTENIMIENTO/INSPECCIÓN	15.3. Inadecuado desarrollo/diseño de servicio/producto
7.1. relación jerárquica confusa/contradictoria	10.1. Inadecuada identificación de peligros/evaluación de riesgos en el diseño	12.1. Inadecuada evaluación de necesidades de mantenimiento preventivo	15.4. Inadecuado servicio estándar/producto
7.2. asignación de cargo/rol confuso/contradictoria	10.2. Inadecuada identificación de modo de falla	12.2. Inadecuado de servicio y lubricación preventiva	15.5. Inadecuada validación del diseño de servicio/producto
7.3. tarea/responsabilidad/ poca clara/contradictoria	10.3. Inadecuada evaluación de clientes/requerimientos de partes interesadas	12.3. Inadecuado ajuste/montaje	15.6. Inadecuada verificación del diseño de servicio/producto
8. LIDERAZGO INADECUADO	10.4. Inadecuada identificación de requisitos legales	12.4. Inadecuada de limpieza preventiva/repavimentación	15.7. Inadecuada planeación de servicio/producto
8.1. Estrategia de activos/riesgos inadecuada	10.5. Inadecuada consideración en el diseño de factores ergonómicos/humanos	12.5. Inadecuada comunicación de necesidades de mantenimiento correctivo	15.8. Inadecuada verificación de calidad de servicio producto
8.2. Desarrollo inadecuado de liderazgo	10.6. Inadecuado diseño de proceso/estándar/especificación/criterio	12.6. Inadecuada programación de mantenimiento de trabajo	16. INADECUADOS ESTÁNDARES DE TRABAJO/PRODUCCIÓN
8.3. Delegación inadecuada	10.7. Inadecuada automatización de control de procesos	12.7. Inadecuada evaluación de necesidades de reparación	16.1. Inadecuada identificación de requisitos (regulatorios/código industrial/ permiso para operar)
8.4. Estándares inadecuados	10.8. Inadecuada estándar/especificación (técnica) o ausencia de los mismos	12.8. Inadecuada situación de partes/reemplazo	16.2. Inadecuada identificación de riesgo/evaluación en desarrollo de estándar
8.5. Comunicación/implementación de política/procedimiento/practica inadecuadas	10.9. Inadecuada revisión de riesgos de proyecto	12.9. Inadecuado método de inspección/intervalos	16.3. Inadecuado estándar de proveedor/contratista
8.6. Política/procedimiento/practica contradictoria	10.10. Inadecuado monitoreo de construcción/fabrica/montaje	12.10. Imposibilitado de inspeccionar	16.4. Inadecuada coordinación con diseño de proceso al desarrollar el estándar
8.7. Programación/planeación de procesos/trabajos inadecuados	10.11. Inadecuada evaluación de preparación operacional	13. DESGASTE EXCESIVO	16.5. Inadecuada participación del empleado en el desarrollo de estándares
8.8. Tolerar desviación	10.12. Inadecuado proceso de puesta en marcha/entrega	13.1. Inadecuada planeación de uso	16.6. Estándares contradictorios/priorización incorrecta de estándares
8.9. Tolerar mal uso de equipo/herramienta	10.13. Inadecuado monitoreo de operación inicial	13.2. Decisión incorrecta sobre extensión de vida útil	16.7. Inadecuada publicación de estándar
8.10. Tolerar comportamiento incorrecto/inadecuado	10.14. Inadecuada administración de cambio	13.3. Inadecuada inspección/monitoreo	16.8. Inadecuada distribución de estándar
8.11. Inadecuada administración de la información	11. INADECUADA ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO	13.4. Carga/índice de uso incorrecto	16.9. Inadecuada de traducción de idioma correcto
8.12. Inadecuado seguimiento/cierre de acciones de auditoria	11.1. Inadecuada especificación en requisición/orden de compra	13.5. Usado para el propósito/tarea/actividad equivocada	16.10. Uso incorrecto de lenguaje
9. INADECUADA SUPERVISIÓN/COACHING	11.2. Inadecuada investigación de material/equipo/herramienta/suministro, etc.	14. DESGASTE EXCESIVO	16.11. Inadecuada capacitación de estándar
9.1. Inadecuada instrucción/orientación/capacitación	11.3. Inadecuada especificación para el vendedor	14.1. Inadecuada evaluación de necesidades de riesgo	16.12. Inadecuado reforzamiento del estándar con señales, códigos de color y ayudas de trabajo
9.2. Inadecuada información de documentos de supervisión/coaching	11.4. Inadecuada forma/ruta de envío	14.2. Inadecuada consideración de factores humanos/ergonómicos	16.13. Inadecuado monitoreo de cumplimiento del estándar
9.3. Falta de supervisión/administración de conocimiento de trabajo	11.5. Inadecuada comunicación de información sobre peligros	14.3. Inadecuado estándar/especificación (de proveedor)	17. INADECUADA COMUNICACIÓN/INFORMACIÓN
9.4. Inadecuada compatibilidad entre calificaciones y trabajo/requerimientos de tarea	11.6. Inadecuada inspección recibo/aceptación	14.4. Incorrecta medida/detección/control (de proceso)	17.1. Inadecuado manejo de la información
9.5. Inadecuada evaluación y medición del desempeño	11.7. Manipulación incorrecta de material	14.5. Inadecuada disponibilidad de herramienta/equipo/maquina/dispositivo	17.2. Información poco clara
9.6. Inadecuada retroalimentación de desempeño	11.8. Almacenamiento incorrecto de material	14.6. Inadecuada inspección/repación/mantenimiento	17.3. Inadecuada transferencia de información entre procesos/unidades organizacionales
	11.9. Transporte incorrecto de material	14.7. Inadecuado ajuste/calibración	17.4. Inadecuada transferencia de información con cliente/parte interesada
	11.10. Inadecuado periodo de conservación/validación para reúso de materiales/equipo	14.8. Inadecuada eliminación y reemplazo de artículos inapropiados	17.5. Inadecuada transferencia de información con autoridades
	11.11. Inadecuada identificación de material	15. INADECUADO DISEÑO DE PRODUCTO/SERVICIO	17.6. Inadecuada transferencia de información con proveedores/contratistas/terceras partes
	11.12. Incorrecta recuperación/disposición de residuos	15.1. Inadecuada evaluación de necesidades y riesgos	17.7. Inadecuada estructura de comunicación
	11.13. Inadecuada selección de contratista/proveedor	15.2. Inadecuado sistema de concesión/especificación/estándar de servicio/producto	17.8. Inadecuadas bases de datos/ sistemas de información
			17.9. Inadecuado método de comunicación/técnica utilizada

## ÁREAS DE CONTROL

<p>1. LIDERAZGO</p> <p>1.1. Propósitos y valores</p> <p>1.2. Metas</p> <p>1.3. Políticas</p> <p>1.4. Estrategia</p> <p>1.5. Participación de los patrones inmediatos</p> <p>1.6. Procesos de negocios</p> <p>1.7. Riesgos de negocios</p> <p>1.8. Responsabilidades (accountabilities)</p> <p>1.9. Compromiso de los altos mandos</p> <p>1.10. Liderazgo de seguridad operativa de procesos</p> <p>2. PLANEAMIENTO Y ADMINISTRACIÓN</p> <p>2.1. Planeamiento de negocios</p> <p>2.2. Planeamiento y control de trabajo</p> <p>2.3. Rastreo de acciones</p> <p>2.4. Documentación de sistemas de gestión</p> <p>2.5. Registros</p> <p>2.6. Planeamiento de seguridad ocupacional de procesos</p> <p>3. EVALUACIÓN DE RIESGOS</p> <p>3.1. Identificación y evaluación de peligros para la salud</p> <p>3.2. Identificación y evaluación de peligros para la seguridad operacional</p> <p>3.3. Identificación y evaluación de peligros para la seguridad física</p> <p>3.4. Identificación y evaluación de peligros para el medio ambiente</p> <p>3.5. Identificación y evaluación de expectativas del cliente</p> <p>3.6. Evaluación de riesgos de las tareas</p> <p>3.7. Información de seguridad operacional de procesos</p> <p>3.8. Análisis de peligros de procesos de procesos de recursos humanos</p>	<p>4. RECURSOS HUMANOS</p> <p>4.1. Sistema de recursos humanos</p> <p>4.2. Reclutamiento</p> <p>4.3. Gestión de desempeño individual</p> <p>4.4. Reconocimiento y disciplina</p> <p>4.5. Salir o desvincularse de la compañía</p> <p>4.6. Gestión de cambio organizativo</p> <p>4.7. Seguridad operacional</p> <p>5. GARANTÍA DE CUMPLIMIENTO/CONFORMIDAD</p> <p>5.1 Normativa</p> <p>5.2 Autorizaciones externas para operar</p> <p>5.3 Códigos y estándares de la industria</p> <p>5.4 Informes de las autoridades</p> <p>5.5 Seguridad física de la información</p> <p>5.6 Administración del producto</p> <p>5.7 Evaluación del cumplimiento/conformidad</p> <p>5.8 Normativa de seguridad operacional de procesos</p> <p>5.9 Seguridad física de la información de procesos</p> <p>6. GESTIÓN DE PROYECTOS</p> <p>6.1 Coordinación de proyectos</p> <p>6.2 Planeación de proyectos</p> <p>6.3 Ejecución de proyectos</p> <p>6.4 Control de proyectos</p> <p>6.5 Cierre de proyectos</p> <p>6.6 Revisiones de proyectos de seguridad operacional de procesos</p> <p>7. CAPACITACIÓN Y COMPETENCIA</p> <p>7.1. Sistema de capacitación</p> <p>7.2 Análisis de necesidades de capacitación</p> <p>7.3 Competencia del instructor</p> <p>7.4 Entrega de la capacitación</p> <p>7.5 Inducción/orientación de liderazgo</p> <p>7.6 Inducción/orientación general</p> <p>7.7 Inducción/orientación de trabajo</p> <p>7.8 Evaluación de sistemas de capacitación</p>	<p>8. COMUNICACIÓN Y PROMOCIONES</p> <p>8.1 Sistema de comunicación</p> <p>8.2 Coordinación de reuniones</p> <p>8.3 Administración de reuniones</p> <p>8.4 Reuniones en grupos</p> <p>8.5 Comité conjunto/consejo</p> <p>8.6 Coaching</p> <p>8.7 Reconocimiento</p> <p>8.8 Campañas de promoción</p> <p>8.9 Información sobre licencias o alejamiento del trabajo</p> <p>8.10 Concientización de seguridad de procesos</p> <p>9. CONTROL DE RIESGOS</p> <p>9.1 Controles de peligros para la salud</p> <p>9.2 Controles de peligros para la seguridad ocupacional</p> <p>9.3 Controles de peligros para la seguridad física</p> <p>9.4 Controles de peligros para el medio ambiente</p> <p>9.5 Control de calidad de materiales y productos</p> <p>9.6 Procedimientos operativos</p> <p>9.7 Reglas</p> <p>9.8 Permisos de trabajos</p> <p>9.9 Señales y avisos de advertencia</p> <p>9.10 Equipos de protección personal</p> <p>9.11 Controles de peligros de procesos</p> <p>9.12 Procedimientos operativos para el control de los riesgos de proceso</p> <p>9.13 Reportes sobre peligros graves</p>	<p>10. GESTIÓN DE ACTIVOS</p> <p>10.1 Programa de mantenimiento</p> <p>10.2 Programación y planeación de mantenimiento</p> <p>10.3 Ejecución de mantenimiento</p> <p>10.4 Revisión de mantenimiento</p> <p>10.5 Inspecciones de las condiciones generales</p> <p>10.6 Recorrido de condiciones físicas</p> <p>10.7 Inspecciones de equipos especiales</p> <p>10.8 Inspecciones de pre-uso de equipos</p> <p>10.9 Ingeniería y administración de cambio</p> <p>10.10 Equipos de prueba, medición e inspección</p> <p>10.11 Compras y ventas</p> <p>10.12 Programa de integridad de los activos</p> <p>10.13 Inspecciones de seguridad de procesos</p> <p>11. GESTIÓN DE CONTRATISTAS Y COMPRAS</p> <p>11.1 Selección de contratistas/proveedores</p> <p>11.2 Operaciones de contratistas</p> <p>11.3 Garantía de contratistas/proveedores</p> <p>11.4 Cadena de suministros y compras</p> <p>11.5 Logística</p> <p>11.6 Administración de contratistas en áreas de proceso</p> <p>12. PREPARACIÓN DE EMERGENCIAS</p> <p>12.1 Evaluación de preparación para emergencias</p> <p>12.2 Plan de emergencia de la planta</p> <p>12.3 Plan de emergencia fuera de la planta</p> <p>12.4 Plan de crisis</p> <p>12.5 Plan de continuidad de negocios</p> <p>12.6 Revisiones de plan para emergencias</p> <p>12.7 Comunicaciones de emergencia</p> <p>12.8 Sistemas de protección para emergencias</p> <p>12.9 Controles de energía</p> <p>12.10 Equipos de personal para emergencia</p> <p>12.11 Simulacros y ejercicios</p> <p>12.12 Primeros auxilios</p> <p>12.13 Asistencia médica</p> <p>12.14 Ayuda externa y asistencia mutua organizada</p> <p>12.15 Preparación para accidentes graves</p>	<p>13. APRENDER DE LOS EVENTOS</p> <p>13.1 Aprender del sistema de eventos</p> <p>13.2 Aprender el éxito</p> <p>13.3 Participar en las investigaciones</p> <p>13.4 Cuasiaccidente y condición subestándar</p> <p>13.5 Gestión de reclamos</p> <p>13.6 Anuncios de eventos</p> <p>13.7 Accidentes lejos de trabajo</p> <p>13.8 Seguimiento de acciones</p> <p>13.9 Verificación de informe de LFE</p> <p>13.10 Análisis de eventos</p> <p>13.11 Equipos de mejora</p> <p>14. MONITOREO DE RIESGOS</p> <p>14.1 Monitoreo de peligros a la salud</p> <p>14.2 Monitoreo de peligros a la seguridad física</p> <p>14.3 Monitoreo de peligros para la seguridad física</p> <p>14.4 Monitores de peligros para el medio ambiente</p> <p>14.5 Satisfacción del cliente</p> <p>14.6 Eficacia de monitoreo</p> <p>14.7 Encuesta de percepción</p> <p>14.8 Observación del comportamiento</p> <p>14.9 Observación de las tareas</p> <p>14.10 Evaluaciones</p> <p>14.11 Monitoreo de peligros de procesos</p> <p>15. RESULTADOS Y REVISIÓN</p> <p>15.1 Resultados de negocios</p> <p>15.2 Revisión gerencial</p> <p>15.3 Informes a las partes interesadas</p> <p>15.4 Administración de riesgo residual</p>
---	---	---	--	--

Nota: Adaptado de "Systematic Cause Analysis Technique (SCAT 8.2)" (DNV, 2015)

### 2.7.2. Técnicas Operativas

Cortés (2012) indica que las técnicas operativas son aquellas que actúan durante el control de riesgos pudiendo actuar en el factor humano y técnico, siendo las siguientes técnicas:

- Diseño y proyecto de instalaciones o equipos.
- Estudio y mejora de métodos.
- Normalización.
- Sistemas de seguridad.
- Señalización.
- Mantenimiento preventivo.
- Defensas y resguardos.
- Protecciones individuales.
- Selección de personal.
- Formación.
- Adiestramiento.
- Propaganda.
- Acción de grupo.
- Incentivos y disciplina.

Debido a su importancia, se detallarán algunas de estas técnicas:

**2.7.2.1. Normalización.** Según la ISO, es el “proceso de establecer y aplicar reglas con el fin de ordenar una determinada actividad en beneficio y con la colaboración de todos los interesados y especialmente”, teniendo como finalidad una economía óptima considerando las condiciones funcionales y las exigencias de seguridad (Cortés, 2012).

La normalización se puede dar de distintas formas como:

- Normas legales aplicables como la ley 29783, D.S. 005-2012-TR y RSSO en minería.
- Normas internacionales, como la ISO 45001 o el ISRS.

- Normas de seguridad.

En cuanto a las normas de seguridad, tenemos dos (02) ejemplos muy claro establecidos en el RSSO en minería:

- Estándares de trabajo: Son los modelos, pautas y patrones que contienen los parámetros establecidos por el titular de actividad minera y los requisitos mínimos aceptables de medida, cantidad, calidad, valor, peso y extensión establecidos por estudios experimentales, investigación, legislación vigente y/o resultado del avance tecnológico, con los cuales es posible comparar las actividades de trabajo, desempeño y comportamiento industrial.
- El estándar satisface las siguientes preguntas: ¿Qué hacer?, ¿Quién lo hará?, ¿Cuándo se hará? y ¿Quién es el responsable de que el trabajo sea seguro?
- Procedimientos escritos de trabajo seguro (PETS): Documento que contiene la descripción específica de la forma cómo llevar a cabo o desarrollar una tarea de manera correcta desde el comienzo hasta el final, dividida en un conjunto de pasos consecutivos o sistemáticos. Resuelve la pregunta: ¿Cómo hacer el trabajo/tarea de manera correcta y segura?

Para el éxito de las normas de seguridad es muy importante la formación, disciplina y que sean un complemento para la actuación del profesional (Cortés, 2012).

**2.7.2.2. Protecciones Individuales.** Los equipos de protección individual o personal (EPP) son definidos por el D.S. 005-2012-TR como “dispositivos, materiales e indumentaria personal destinados a cada trabajador para protegerlo de uno o varios riesgos presentes en el trabajo y que puedan amenazar su seguridad y salud” (p. 33), siendo una alternativa temporal y adicional a otras medidas de carácter colectivo.

Cortés (2012) indica que para una adecuada selección del EPP se debe tener en cuenta:

- Riesgos existentes en el lugar de trabajo.
- Propiedades físicas y químicas del EPP.
- Parte del cuerpo que puede ser afectada.
- Certificaciones de EPP.
- Medidas antropométricas de los trabajadores (D.S.005-2012-TR).

Para el caso de minería, la RSSO en minería establece los requisitos de EPP por cada tipo de actividad, además que se exige que los PETS mencionen los EPP requeridos por cada tarea.

Cabe indicar que se ha determinado que en lugares con un alto número de accidentes de trabajo está relacionado con un bajo uso de EPP (Sehsah, El-Gilany, & Megahed Ibrahim, 2020) .

**2.7.2.3. Formación.** Cortés (2012) la define como “el proceso que permite ajustar las cualidades del trabajador a una determinada actividad, mejorando y actualizando sus capacidades, habilidades, actitudes y aptitudes para su desempeño” (p. 660) lo cual está asociado al concepto de capacitación mencionado en D.S. 005-2012-TR el cual indica que es la “actividad que consiste en transmitir conocimientos teóricos y prácticos para el desarrollo de competencias, capacidades y destrezas acerca del proceso de trabajo, la prevención de los riesgos, la seguridad y la salud” (p. 32).

Para el caso de minería, la RSSO en minería establece que se deben realizar dos tipos de inducciones, básica y específica para el trabajo/tarea, además del establecimiento de un programa de capacitaciones con temas de generales y otros específicos a los riesgos de la actividad minera.

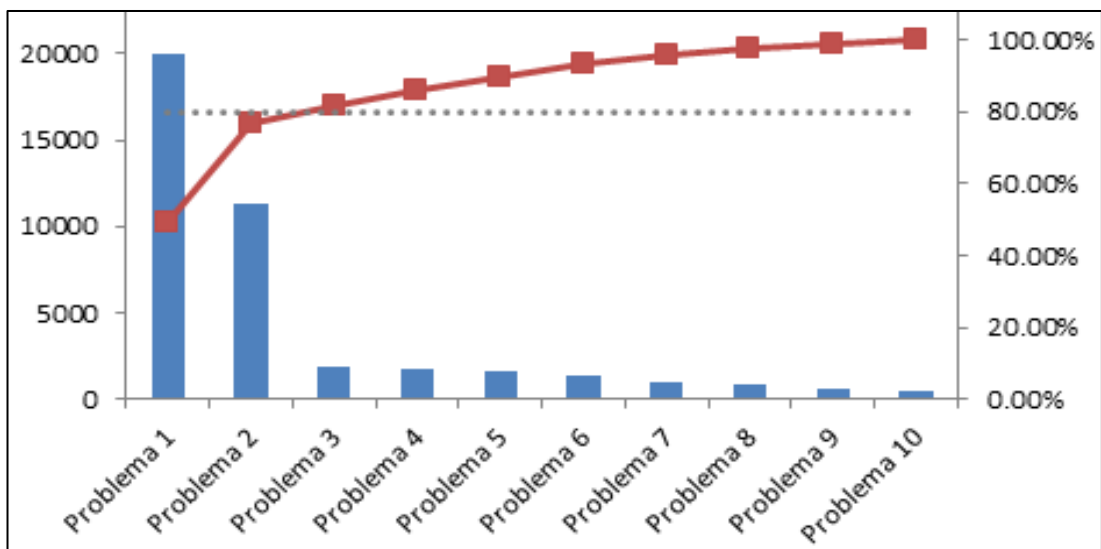
En cuanto a la efectividad de la formación y/o capacitación, estudios como el de Mariscal et al. (2019) indican que la información de SST dada a largo plazo tiene más efectividad en la disminución de accidentes que las actividades de capacitación dadas poco antes de los sucesos.

Una de las técnicas operativas que ha demostrado una gran eficacia (Meliá, 2007), la cual está relacionada con la técnica de acción de grupo y disciplina, es la seguridad basada en el comportamiento (SBC). Debido a su importancia, se desarrolla de manera separada.

## 2.8. Principio de Pareto

El principio de Pareto, conocido también como la regla 80 – 20 establece que aproximadamente el 80% de un conjunto de eventos proviene de un 20% de las causas (Kiran, 2017), pudiendo realizar el símil con que el 80% de los accidentes son generados por un 20% de las causas (Bird, 1985) como se evidencia en la figura 15.

**Figura 15.** Diagrama de Pareto.



Nota: Adaptado de Chapter 20 - Seven Traditional Tools of TQM (Kiran, 2017).

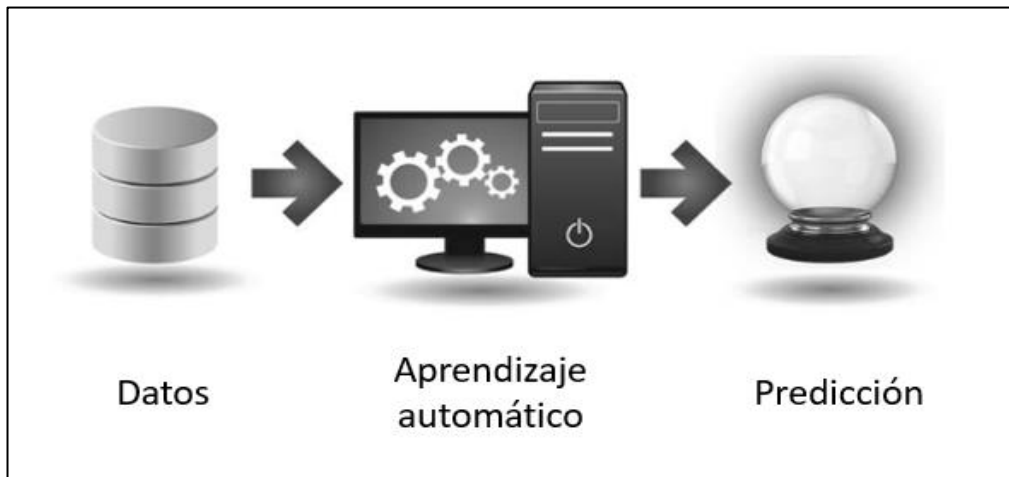


Muresan et al. (2019), mediante el uso del principio de Pareto, llegó a determinar que gran parte de los accidentes son causados por la falta de capacitación en contratistas. Además, indica que el uso del principio de Pareto es posible cuando se tiene parámetros medibles como el número de accidentes.

## 2.9. Análisis Predictivo

Kumar & Garg (2018) indican que el análisis predictivo es el término que incluye una diversidad de técnicas estadísticas y analíticas utilizadas para predecir los eventos futuros que tiene sus orígenes en la estadística clásica. Para realizar estas predicciones se recurre a métodos de aprendizaje automático (machine learning) para convertir los datos en predicciones como lo expresa la figura 16 (Siegel, 2016).

**Figura 16.** Metodología del Análisis Predictivo.



Nota: Adaptado de "Predictive Analytics: The Power to Predict Who Will Click, Buy, Lie or Die" (Siegel, 2016).

### 2.9.1. Definiciones

Espino Timón (2017) menciona las siguientes definiciones:

**2.9.1.1. Datos.** Fuente de la que se obtienen las variables, las relaciones entre ellas, el conocimiento inducido o los patrones de comportamiento identificados.

**2.9.1.2. Aprendizaje automático.** El aprendizaje computacional nos da las técnicas mediante las cuales se descubren las relaciones entre las variables, pudiendo hallar relaciones entre variables que en un primer momento se consideraron intrascendentes. Luego de haber determinado las relaciones, se deben interpretar los resultados y hacer suposiciones.

**2.9.1.3. Suposición.** La búsqueda de las relaciones entre variables es uno de los objetivos del análisis predictivo, pero hay que saber interpretar estas relaciones ya que no necesariamente estas indicarán una causalidad entre una variable u otra. Una vez definidas las suposiciones correctas hay que tratar de aprovechar las mismas, que se utilizarán para realizar predicciones.

**2.9.1.4. Predicción.** Una vez que se encuentra la correlación entre las variables y se establecen las suposiciones adecuadas (habiendo considerado la situación real de las variables); se identifican patrones de comportamiento de las variables que permiten la creación de un modelo predictivo.

Un modelo predictivo nunca será 100% exacto, ya que puede haber ciertos cambios en los patrones de comportamiento; pero siempre es mejor predecir en base un modelo a depender del azar.

Además, es muy importante señalar lo que es una variable de datos según Salazar P. & Del Castillo G. (2018).

**2.9.1.5. Variables de Datos.** Característica que puede ser medida, adoptando diferentes valores. Las variables se dividen en:

- Cualitativas: Expresan características que no pueden ser medidas con números. También llamadas categóricas. Pueden ser:
  - Nominal: No admiten un criterio de orden como la empresa a la que pertenece el trabajador accidentado.
  - Ordinaria: Existe un orden como grado de gravedad de accidente (leve, incapacitante, mortal).
- Cuantitativas: Expresadas en valores numéricos, la cual se subdivide en:
  - Discretas: Se determinan mediante conteo, tomando solo valores enteros como el número de actos subestándares o número de accidentes.
  - Continuas: Se determina mediante medición o cálculo, tomando valores enteros o no como el índice de accidentabilidad o la concentración de algún contaminante.

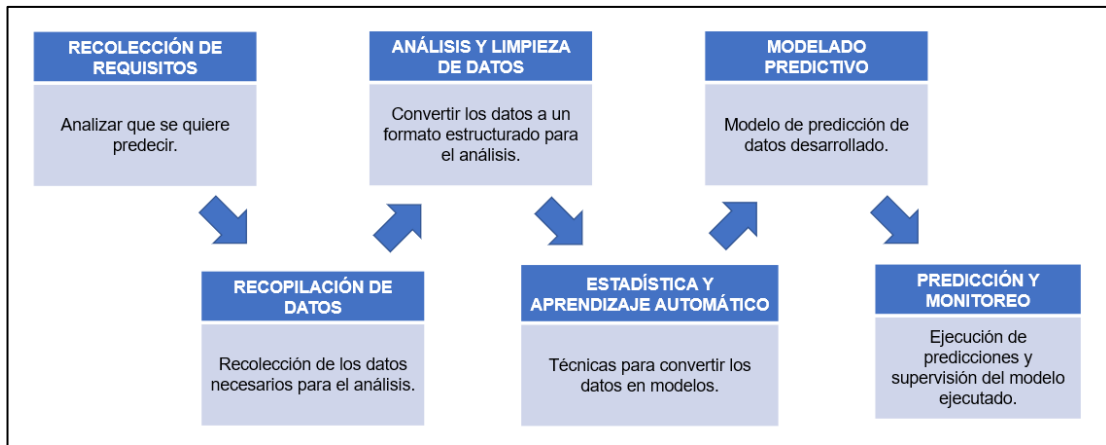
### **2.9.2. Proceso de Análisis Predictivo**

Según Kumar & Garg (2018) el proceso de análisis predictivo cuenta con las siguientes etapas, como se puede ver también en la figura 17.

- Recolección de requisitos: En esta etapa se define qué es lo que se quiere predecir.
- Recopilación de datos: Se recopilan los datos necesarios de distintas fuentes, los que pueden estar estructurados o no estructurados.
- Análisis y limpieza de datos: Convertir los datos recopilados en una forma estructurada para el análisis (sobre todo los no estructurados). Una vez concluido se prueba la calidad de los datos con la finalidad de evitar datos erróneos o detectar la ausencia de una buena cantidad de datos. Es una etapa crucial ya que la efectividad del modelo predictivo depende en gran medida de la calidad de los datos.

- Estadística y Aprendizaje Automático: El uso de las técnicas de estadística y aprendizaje automático para generar modelos predictivos.
- Modelado Predictivo: Desarrollo de un modelo basado en las técnicas de estadística y/o aprendizaje automático. Una vez desarrollado, se realiza la prueba con el conjunto de datos de prueba que es parte del total de datos recopilados para verificar si el modelo es válido.
- Predicción Monitoreo: Una vez validado el modelo se realiza la implementación, realizando predicciones continuas y tomando las decisiones en base a ello mientras se realiza la supervisión constante para asegurar que se estén dando los resultados correctos.

**Figura 17.** *Proceso de Análisis Predictivo.*



### 2.9.3. Categorías de Modelos Predictivos

Según Kumar & Garg (2018) los modelos predictivos pueden ser:

**2.9.3.1. Predictivos.** Este modelo explica la relación entre el comportamiento de una unidad en una muestra y una o más características conocidas de la unidad, con la finalidad de evaluar la probabilidad de que una unidad similar en una muestra diferente tenga un comportamiento específico.

**2.9.3.2. Descriptivo.** Los modelos descriptivos cuantifican las relaciones que pueden existir entre variables, con la finalidad de clasificarlos en grupos. Este modelo puede ser usado para categorizar aquellas personas que cuentan con ciertas características que pueden tener mayor o menor probabilidad de ser afectado por un evento no deseado.

**2.9.3.3. Decisión.** Los modelos de decisión tienen como finalidad predecir los resultados de una decisión en donde se consideran varias variables; para lo cual se describe la relación entre todos los elementos de una decisión –los datos conocidos, la decisión y el pronóstico de los resultados de una decisión. Los modelos de decisión se usan para modelar un enfoque de toma de decisiones repetible que se utilizará una y otra vez.

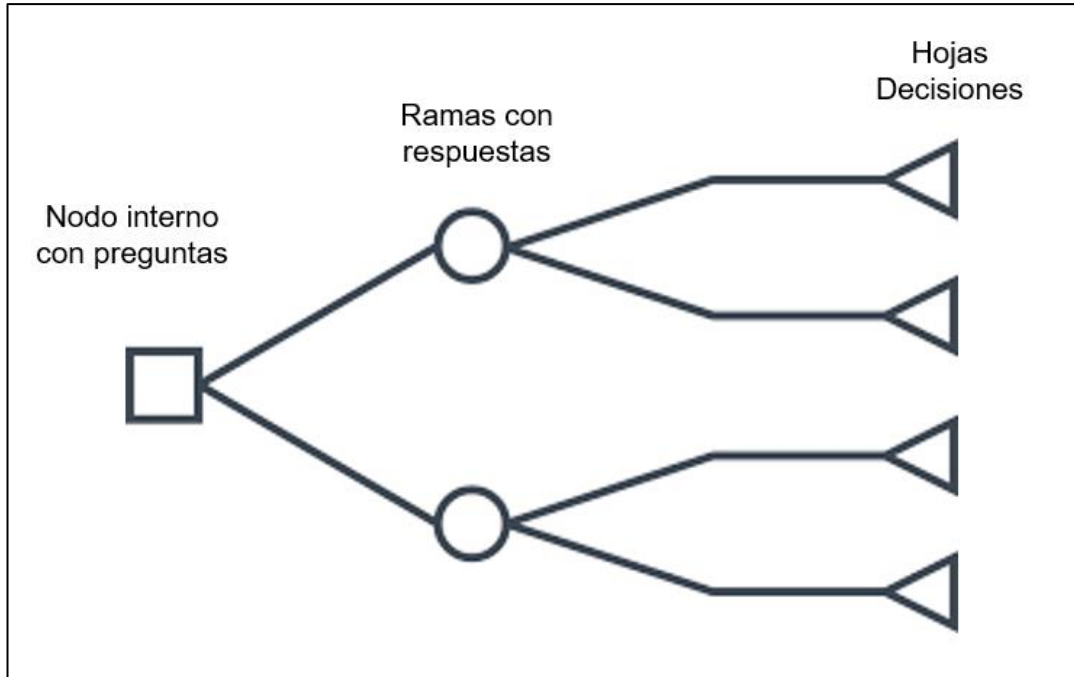
#### **2.9.4. Técnicas Predictivas Existentes**

Kumar & Garg (2018) indican que todos los modelos de análisis predictivo se clasifican en modelos de clasificación y de regresión los cuales predicen la pertenencia de valores a cierta clase y un número respectivamente. Existen varias técnicas de análisis predictivo, algunas de las utilizadas en seguridad y salud en el trabajo son:

- Árboles de decisión.
- Modelo de regresión.
- Red neuronal.
- Estadística bayesiana.

Los árboles de decisión son un modelo, principalmente, de clasificación el cual relaciona las decisiones con las posibles consecuencias. Como describe la figura 18, esta técnica consiste en que cada “rama” significa una elección entre varias alternativas y cada “hoja” una decisión y así sucesivamente, siendo las hojas más externas la decisión del problema analizado. (Kumar & Garg, 2018)

**Figura 18.** Árboles de decisión.



Nota: Predictive Analytics: A Review of Trends and Techniques (Kumar & Garg, 2018).

Las posibles elecciones, también llamadas particiones pueden ser nominales como numéricas. Las nominales trabajan con variables nominales estableciendo un número finito de particiones, mientras que las numéricas trabajan con variables continuas, lo que puede dar como resultado infinitas particiones, para lo cual se trabaja con intervalos como, por ejemplo, dividir los índices de accidentabilidad entre menor a 1 y no menor a 1. (Hernández Orallo, María José, & Ferri Ramírez, 2004)

Debido a las particiones que se realizan, este modelo tiene la ventaja de poder trabajar con datos faltantes, siendo también útil para seleccionar variables preliminares; aunque existen limitaciones en cuanto a la posibilidad de insertar cambios. (Kumar & Garg, 2018)

Sobre el uso de árboles de decisión en seguridad y salud en el trabajo, se han obtenido los siguientes resultados:

- Muñoz (2018) obtuvo una exactitud en la predicción de accidentes leves (más de 5) y graves en obras de construcción de 71.0% y 72.0% respectivamente.
- Kang & Riu (2019) obtuvieron una precisión de 71% en el modelo que predecía los accidentes mediante datos meteorológicos (temperatura, humedad, entre otros).
- Rivas et al. (2011) obtuvieron una tasa de éxito entre el 77 % y 87% en la predicción de accidentes usando diversos modelos basados en árboles de decisión.

Además, cabe indicar que los árboles de decisión han permitido obtener también los siguientes resultados:

- Kang & Riu (2019) pudieron determinar las principales causas para distintos tipos de accidentes, como que la falta de uso de EPP, la falta o mal uso de dispositivos de seguridad eran las principales causas para accidentes relacionados a caídas de altura.
- Rivas et al. (2011) pudieron detectar las variables más relevantes en la ocurrencia de accidentes, como duración de la tarea, estado contractual de la empresa, entre otros.

Los modelos de regresión son usados cuando la variable respuesta y las explicativas (atributos) son cuantitativas (Hernández Orallo, María José, & Ferri Ramírez, 2004), siendo usados principalmente para conocer el efecto de factores específicos en el resultado de las variables respuesta mediante el uso de una función de regresión. Existen dos tipos de regresiones:

- Lineal: Aplicado para modelar la relación lineal entre variables explicativas y respuesta. Existen dos (02) tipos de regresión:
  - Simple: Cuando solo existe una variable independiente.
  - Múltiple: Cuando se tienen dos a más variables independientes.

- Logística: Aplicado cuando la variable respuesta es expresada mediante categorías con un número de valores limitados. (Kumar & Garg, 2018)

Sobre el uso de regresión en seguridad y salud en el trabajo, se ha obtenido los siguientes resultados:

- Muñoz (2018), mediante el uso de regresión logística, obtuvo una exactitud en la predicción de accidentes leves (más de 5) y graves en obras de construcción de 71.0% y 72.0% respectivamente.
- Rivas et al. (2011) obtuvieron una tasa de éxito del 72.5% en la predicción de accidentes mediante el uso de regresión logística.

La estadística bayesiana está basada en el teorema de Bayes que permite determinar la probabilidad de un evento a priori dado que un evento a posteriori ya ha ocurrido (probabilidad condicional). Cabe indicar que para el uso de la estadística bayesiana se utilizan variables aleatorias y que pueden ser utilizadas por ejemplo para encontrar la enfermedad en función de los síntomas. (Kumar & Garg, 2018)

Sobre el uso de estadística bayesiana en seguridad y salud en el trabajo, se ha obtenido los siguientes resultados:

- Sanmiquel et al. (2015), mediante el uso de técnicas como clasificadores bayesianos, determinaron las principales causas de accidentes en la minería española; los cuales fueron: tipo de causa previa (causa inmediata), lugar (área donde ocurrió el accidente), tamaño (número de empleados de la empresa), actividad física, responsabilidad en la organización preventiva (propia, tercera, entre otras), y edad del involucrado.
- Rivas et al. (2011) obtuvieron una tasa de éxito entre el 79 % y 89% en la predicción de accidentes usando diversos modelos basados en árboles de decisión.
- Además, Rivas et al. (2011) también indican que algunas las técnicas basadas en estadística bayesiana permite incluso realizar análisis



hipotéticos, por ejemplo calcular la probabilidad de ocurrencia de accidente en trabajadores con más de 40 años, lo que permite explorar los datos con mayor detalle y considerar varios escenarios de accidentes o incidentes, coincidiendo con lo declarado por Saavedra y Martínez-Alegría (2018).

Por último, las redes neuronales son definidas por Kumar & Garg (2018) como “basadas en neuronas biológicas, que simulan las capacidades del sistema nervioso humano para procesar las señales de entrada y producir las salidas” (p. 34). Las redes neuronales tienen un funcionamiento bastante complejo y consisten en redes que aprenden de un conjunto de datos (datos de entrenamiento) para realizar una predicción de nuevos datos.

Sobre el uso de redes neuronales en seguridad y salud en el trabajo, Schwarz (2017) pudo reconocer patrones que pueden predecir accidentes fatales en minería, obteniendo factores que explican el 99.97% de las causas de accidentes fatales en la minería peruana entre el año 2010 a 2015.

## **2.10. Seguridad Basada en el Comportamiento**

Término originado por Petersen (1978), basándose en el padre del análisis de los comportamientos B.F. Skinner. Según Krause, este término se refiere a la aplicación de métodos de análisis del comportamiento para lograr una mejora continua en la SST (Martínez Oropesa, 2015).

Según lo indicado en el 2018 por Guo et al. (Pariona Palomino & Matos Ormeño, 2021) la finalidad de la seguridad basada en el comportamiento (SBC en adelante) es disminuir los actos subestándares por lo que para su aplicación se debe considerar los siguientes puntos:

### **2.10.1. Teoría Tricondicional del Comportamiento Seguro**

Según lo indicado por Meliá (2007), para que un trabajador deba trabajar seguro deben darse tres (03) condiciones:

- Deber poder trabajar seguro: Proporcionar condiciones físicas de trabajo (máquinas, ambiente de trabajo, herramientas, etc.) seguras y saludables. Referido a elementos principalmente técnicos.
- Deber saber trabajar seguro: Proporcionar la información y formación necesaria para los trabajadores para que adquiera las competencias necesarias para desempeñar sus funciones de manera segura y saludable.
- Deber querer trabajar seguro: Hacer que los trabajadores tengan motivos para comportarse seguros, al menos más motivos que para comportarse de forma insegura.

Existen muchos métodos para la aplicación de SBC, siendo el de mayor aplicación, el que trabaja en la tercera condición, el “querer trabajar seguro”, por lo que Meliá (2007) recomienda aplicar la SBC en organizaciones donde la primera y segunda condición están razonablemente resueltas, es decir donde existan un alto grado de accidentes debido a comportamientos o actos de los trabajadores, lo cual es un escenario que se da en la minería peruana (OSINERGMIN, 2013-2019).

### **2.10.2. Principios del SBC**

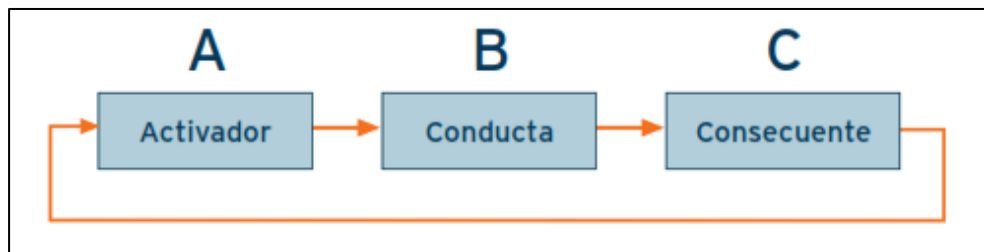
En el 2005, Geller, uno de los principales nombres relacionadas a la SBC, indicó siete principios claves para su aplicación (Meliá, 2007). Estos principios son:

**2.10.2.1. Intervenir sobre Conducta Observable.** Intervenir sobre lo que la gente hace o deja de hacer, es decir comportamiento real, tangible y observable.

**2.10.2.2. Observar Factores Externos Observables.** Trabajar con los factores externos al trabajador que pueden ser observados como prácticas de interacción social.

**2.10.2.3. Dirigir con Activadores y Motivar con Consecuentes.** Los activadores son señales que preceden y facilitan determinada conducta, los cuales funcionan porque la conducta recibió una recompensa (refuerzo) o no funcionan porque la conducta recibió una consecuencia negativa (castigo). La SBC trabaja en base al modelo de aprendizaje ABC (figura 19), siendo la conducta B la conducta segura.

**Figura 19.** Modelo de Aprendizaje ABC.



Nota: Adaptado de "Seguridad Basada en el Comportamiento" (Meliá, 2007).

**2.10.2.4. Orientación a las Consecuencias Positivas para Motivar el Comportamiento.** La SBC recomienda que, para evitar el comportamiento inseguro, se debe identificar el comportamiento seguro asociado y reforzar la consecuencia positiva del mismo.

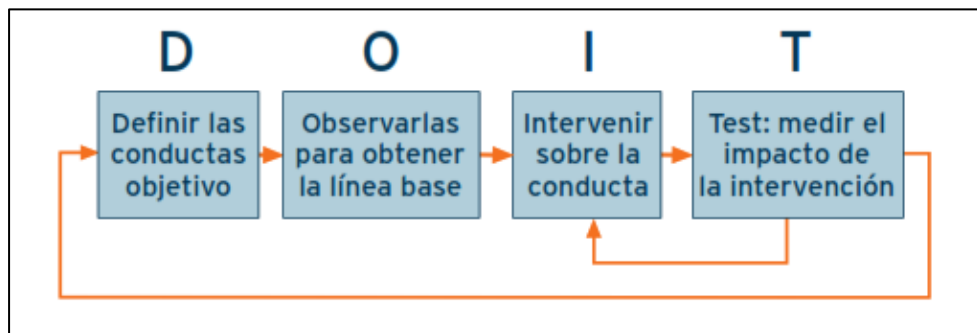
**2.10.2.5. Aplicar El Método Científico para Controlar y Mejorar la Intervención.** Mediante un control de resultados cuantificado, riguroso y continuo que permita la toma de decisiones. Se recomienda el proceso DOIT indicado en la figura 20, siendo cada letra una parte del proceso:

- D – Definir las conductas objetivo: Definir las conductas seguras observables en las que se van a trabajar. Una herramienta muy útil

es tener una Lista de Conductas Clave (LCC) donde se indiquen las conductas de maneras claras y precisas.

- O – Observarlas para obtener la línea base: Mediante una observación no intrusiva, que no afecte el comportamiento del trabajador observado, por un período de tiempo se debe determinar la frecuencia media y variabilidad de las conductas claves.
- I – Intervenir sobre la conducta: En base a lo observado se debe definir cuándo y cómo se debe intervenir mediante feedback, refuerzo entre otros.
- T - Test: Se seguirán registrando las conductas evaluando la intervención de manera continua.

**Figura 20.** *Proceso DOIT.*



Nota: Adaptado de “Seguridad Basada en el Comportamiento” (Meliá, 2007).

#### **2.10.2.6. Utilizar los Conocimientos Teóricos para Integrar la Información y Facilitar el Programa, No para Limitar Posibilidades.**

Como se indicó en la figura 20, en base a la parte T y los resultados de la evaluación, se introducirán cambios a la intervención para mejorar sus resultados.

**2.10.2.7. Diseñar las Intervenciones con Consideración de los Sentimientos y Actitudes.** Una vez que la SBC ha generado instaurar el comportamiento seguro, el comportamiento induce un cambio a sentimientos

y actitudes más favorables a la SST debido a las consecuencias positivas sobre los trabajadores al realizar conductas seguras.

### **2.10.3. Programa de SBC**

Para implementar la SBC en una empresa, (Meliá, 2007) recomienda seguir las siguientes etapas:

#### **2.10.3.1. Verificar Condiciones Previas.** Se debe:

- Tener la primera y segunda condición de la Teoría Trincondicional razonablemente satisfechas.
- El comportamiento (actos) es responsable de los sucesos.
- No se padece una situación de conflicto colectivo.
- Se cuenta con los recursos.
- Apoyo y compromiso de la alta dirección.

**2.10.3.2. Diagnóstico de la SBC.** En base al modelo de aprendizaje ABC se debe identificar la lista de conductas claves (LCC), sus antecedentes (activadores) y consecuentes relevantes para la situación de la organización.

#### **2.10.3.3. Planificar la Acción SBC.** En tres campos:

- Diseño: El establecimiento de una línea base múltiple, unidad de observación (PE trabajadores de determinada área) y unidad de tiempo de registro.
- Método de intervención: Los más comunes son los feedback y las economías de fichas.
- Método de control: Selección de indicadores, ya sea proactivos o reactivos para evidenciar los resultados del programa.

**2.10.3.4. Elaborar Material Formativo sobre las LCC.** Con la finalidad de explicar a los observadores y participantes del programa cuáles son las conductas seguras y las inseguras.

**2.10.3.5. Obtener la Línea Base de la LCC.** Obtener un gráfico que evidencie el resultado del programa a través del tiempo para lo cual se puede usar un indicador como el porcentaje de conductas seguras por cada grupo observado (línea base múltiple). Es muy importante tener esta línea base hasta que se decida intervenir, lo cual puede depender de factores como:

- Tiempo para que los observadores y participantes se sientan cómodos.
- Tiempo para dejar que la línea base se estabilice y tener una tendencia real.
- No dejar mucho tiempo para que los observadores y participantes sigan atentos con el desarrollo del programa.

Para poder obtener estos resultados es muy importante establecer antes lo siguiente:

- Protocolo de observación.
- Entrenamiento de observadores.

**2.10.3.6. Activar la Intervención sobre las LCC.** Con una línea base bien establecida se toma la decisión de iniciar la intervención mediante:

- Feedback: Retroalimentación en base al desempeño, de ser preferente mediante infografía visual.
- Programa de refuerzos: Elementos que “premién” el buen desempeño. Se pueden usar premios materiales u otros.
- Economía de fichas: Cuantificación de comportamientos deseados, mediante fichas, que luego serán canjeadas por recompensas dependiendo del número de fichas obtenidas.

Se puede elegir cualquiera de las formas de intervención, siendo lo importante la magnitud del refuerzo ya que si es muy pequeña puede perder su poder reforzante mientras que, si es muy grande, puede ser efectiva en un corto plazo, pero no a largo plazo.

**2.10.3.7. Control de la LCC.** Es una etapa que se da a lo largo de todo el programa de SBC considerando que se tiene dos (02) principales efectos:

- Incremento del porcentaje de conductas seguras.
- Regularidad de conductas seguras durante el tiempo.

**2.10.3.8. Reajuste del Programa.** Se puede reajustar el programa para corregir elementos que no funcionan según lo esperado o debido a una mejora que se quiere lograr. Estos reajustes pueden ser:

- Incorporación de nuevas conductas claves.
- Modificación de los refuerzos.

Todo esto con la finalidad de mantener el programa vivo obteniendo una mejora continua de la SST.

#### 2.10.4. Resultados de SBC

En base a la revisión realizada por Pariona & Matos (2021), la implementación de SBC ha obtenido los resultados indicados en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Resultados de la Implementación de la SBC.

Población	Muestra	Tiempo	País	Hallazgos	Fuente
Trabajadores de industria de paneles	76	4 semanas	India	Mejóro más del 20%.	Dinagaran et al. (2019)
Trabajadores de mina	36	1 año	Perú	Impacto positivo más del 90%.	Gómez et al. (2020)
Trabajadores de una pyme	42	6 meses	Polonia	Se modificó el comportamiento.	Niciejewska & Obrecht (2020)

<b>Población</b>	<b>Muestra</b>	<b>Tiempo</b>	<b>País</b>	<b>Hallazgos</b>	<b>Fuente</b>
Conductores mineros	70	6 meses	China	Mejóro la salud mental.	Yu & Li (2019)
Trabajadores de industria de alimentos	631	4 meses	Irán	Disminución de actos inseguros.	Jadidi et al. (2019)
Trabajadores de cementera	30	3 meses	India	Estándar más alto de seguridad.	Aliyachen et al. (2018)
Conductores de vehículos	34	26 semanas	China	Reducción del 58% de accidentes.	Wang et al. (2018)
Trabajadores de cementera	40	4 años	África	Mejóro la cultura de seguridad.	Nunu et al. (2018)
Trabajadores de construcción	138	36 semanas	Singapur	Fue poco efectivo.	Guo et al. (2018)
Trabajadores de una fábrica	34	6 meses	Turquía	Mejóro el comportamiento.	Coşkun-Beyan & Turşucu (2017)
Trabajadores mineros	400	7 años	EE. UU	Redujo accidentes en 50%.	Hagge et al. (2016)
Trabajadores de industria de petróleo	-	12 meses	Indonesia	Se redujo los accidentes.	Mansur & Nasution (2016)
Trabajadores de construcción	198	9 semanas	China	Mejóro el desempeño.	Li et al. (2015)

## 2.11. Decisión

Tanto la OIT (2019) y Vassallo (2017) indican que la SST debe apuntar al uso de la tecnología, pronósticos y análisis de datos, siendo algunas de las técnicas que incluyen estos conceptos los análisis de trabajo, análisis estadísticos e investigación de accidentes.

Sin embargo, Vassallo también indicaba que se debe ir más allá de lo que es un sistema de gestión SST, en el que está incluido los análisis de trabajo, investigación de accidentes y el análisis estadístico descriptivo como indica la Ley SST, pero no el uso de la estadística inferencial, como el análisis predictivo, el cual tiene también un importante uso de la tecnología.



En cuanto al análisis predictivo, como se ha descrito previamente, existen diversas técnicas que han obtenido tasas de éxito mayores a 50%. El uso de determinada técnica depende de los datos obtenidos de la situación de la gestión de SST en el sujeto de estudio.

Cabe indicar que los datos utilizados en el desarrollo del modelo predictivo son las variables que producen accidentes de trabajo según lo descrito en 2.4, mientras que los resultados son validados mediante los resultados de indicadores en SST.

Por último, para el establecimiento de una metodología de prevención de accidentes mediante el análisis predictivo, se basa en la SBC, debido a sus resultados obtenidos, y el principio de Pareto.

### **3. CAPÍTULO III: MARCO CONTEXTUAL**

#### **3.1. Normativa Nacional**

##### **3.1.1. Ley SST**

La Ley N° 29783 Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo y modificatoria la Ley N° 3022 es la legislación más importante en materia de seguridad y salud en el trabajo y no hace alguna mención expresa al uso del análisis predictivo en la gestión de SST. Solo realiza la mención a la recopilación, análisis y publicación de estadísticas sobre accidentes de trabajo, enfermedades ocupacionales e incidentes peligrosos (Artículo 80 inciso c) a nivel nacional. Esta información es recopilada gracias a lo especificado en el Artículo 87.

Debido a la recopilación y análisis que se realiza, esta información podría usarse como input para el diseño de un modelo predictivo a nivel nacional como ha sido usado en estudios previos de análisis predictivo en SST como en Sanmiquel et al. (2015) y Kang & Riu (2019).

##### **3.1.2. Reglamento de la Ley SST**

El reglamento de la Ley N° 29783, el Decreto Supremo N° 005-2012-TR y su modificatoria el Decreto Supremo N° 006-2014-TR indica el “Cómo” cumplir con lo establecido en la Ley SST, y tampoco menciona el uso del análisis predictivo, pero menciona lo siguiente:

- Artículo 33. Inciso e) Registro de estadísticas de seguridad y salud.
- Artículo 42. Inciso o) Es función del Comité de Seguridad y Salud en el Trabajo: Analizar y emitir informes de las estadísticas de los incidentes, accidentes y enfermedades ocupacionales ocurridas en el lugar de trabajo,

cuyo registro y evaluación deben ser constantemente actualizados por la unidad orgánica de seguridad y salud en el trabajo del empleador.

A diferencia de lo indicado en la Ley SST, el análisis de estadísticas se realiza en base a la información de la empresa, lo cual podría usarse como input para el diseño de un modelo predictivo a nivel de la organización como ha sido usado en Muñoz (2018) y Rivas et al. (2011).

### **3.1.3. RSSO en Minería**

El Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria el D.S. N° 023-2017-EM indica el “Cómo” cumplir con lo establecido en la Ley SST en el sector minería. Similar a lo indicado en las otras normativas nacionales, el RSSO en minería indica el análisis de las estadísticas por el Comité (Artículo 63) y la notificación para la recopilación de las mismas por las autoridades competentes (Capítulo XX).

Adicional a esto en el artículo 69 inciso i) se indica que el Gerente de Seguridad y Salud ocupacional tiene como función analizar y administrar toda información relacionada a la Seguridad y Salud Ocupacional, incluyendo las estadísticas de incidentes, incidentes peligrosos, accidentes de trabajo y enfermedades ocupacionales, para determinar las causas y corregirlas o eliminarlas.

Como se puede ver en el análisis realizado a las tres normativas nacionales más importantes para la SST en la minería peruana, no hay mención del uso del análisis predictivo; existiendo solo mención al análisis de las estadísticas de accidentes de trabajo, incidentes peligrosos, incidentes y enfermedades ocupacionales.

Este análisis está predispuesto a la ocurrencia de sucesos; es decir, actúa de manera reactiva y no anticipada como la presencia de actos y condiciones subestándares, información personal de los trabajadores, entre otros.

## **3.2. Normativa Internacional**

### **3.2.1. ISO 45001**

La ISO 45001:2018 Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo — Requisitos con orientación para su uso es uno de los estándares de seguridad y salud en el trabajo más conocidos y usado, y al igual que la normativa nacional, no menciona de manera expresa el uso del análisis predictivo en la gestión de seguridad y salud en el trabajo, pero podemos encontrar en Capítulo 9 de la norma, Evaluación del Desempeño, la cláusula 9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación del desempeño, la cual indica que la organización debe determinar los métodos de seguimiento, medición, análisis y evaluación de del desempeño, según sea aplicable, para asegurar resultados válidos.

Al igual que la Ley SST, esta norma solo indica que debo contar en mi organización; por lo que para un mayor se debe revisar su Anexo A Orientación para el uso de este documento, precisamente en A.9.1 en donde se indica lo siguiente: “El análisis es el proceso de examinar los datos para revelar relaciones, patrones y tendencias. Esto puede significar el uso de operaciones estadísticas, incluyendo información de otras organizaciones similares, para ayudar a sacar conclusiones de los datos.” (p. 55)

Lo último indicado se relaciona con el uso de un modelo predictivo, ya que menciona el examinar los datos para revelar relaciones, patrones y tendencias; es decir usar los datos para generar algún conocimiento, lo cual es también la forma en la que trabaja el análisis predictivo.

### 3.2.2. ISRS

El Sistema ISRS (International Safety Rating System por sus siglas en inglés o Sistema Internacional de Rating de Seguridad) es un sistema propio de DNV-GL que consiste en procesos que buscan la mejora continua mediante evaluaciones exhaustivas; las cuales se adaptan a la realidad de cada organización que lo aplique (DNV, 2006).

Este proceso tiene diversas ediciones, la séptima es la usada el sujeto de estudio donde se realiza el presente trabajo e incluye 15 procesos.

Al igual que las normas tratadas anteriormente, no se hace mención explícita al uso del análisis predictivo, pero sí algunos conceptos asociados. Los procesos que mencionan aspectos asociados al análisis predictivo son:

**3.2.2.1. Proceso 13 Aprender de los Eventos.** Dentro del sub proceso 13.10 Aprender de los eventos se requiere lo siguiente:

- La organización tiene un sistema para el análisis de datos de eventos para aprender de estos y de las tendencias.
- Las tendencias están calculadas por el número de eventos graves (real/potencial).
- Para las tendencias es analizado:
  - Eventos no deseados en categorías específicas.
  - Causas inmediatas y causas básicas.

**3.2.2.2. Proceso 15 Resultados y Revisión.** Dentro del sub proceso 15.1 Resultados empresariales se requiere lo siguiente:

- La organización desarrolla un análisis de tendencias de los resultados del negocio.
- Las tendencias demuestran un buen desempeño sostenido de las actividades del negocio.

- Las tendencias demuestran un mejoramiento continuo en las áreas claves.

En ambos procesos se determina realizar un análisis de las tendencias, haciendo énfasis en el análisis de datos relacionados a los eventos no deseados y los resultados del negocio.

### **3.3. Situación de la SST en el Sujeto de Estudio**

El presente trabajo de Investigación fue realizado con los datos generados en las operaciones de una Unidad Minera ubicada en la región de Ayacucho, Perú.

Algunos datos de la Unidad Minera son:

- Acceso es por vía terrestre.
- Altitud promedio de 4600 m.s.n.m.
- Alrededor de 2000 trabajadores entre propios y de empresas contratistas.
- La producción es de alrededor de 3850 TN por día.
- Los métodos de explotación son corte y relleno y sublevel stopping.
- Del total de producción, dos tercios es de oro y un tercio de plata.
- Las principales áreas y/o instalaciones son:
  - Mina subterránea.
  - Planta de Beneficio.
  - Vías internas y externas.
  - Planta de Relleno en Pasta.
  - Planta de Shotcrete.
  - Planta de Relleno Cementado.
  - Desmontera.
  - Cancha de mineral.
  - Presa de relaves.
  - Planta de Tratamiento de Agua Potable.

- Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Campamentos (incluye vestuarios y áreas de entretenimiento).
- Oficinas de personal de Compañía y de empresas contratistas.
- Comedores (incluido cocinas).
- Talleres de mantenimiento.
- Almacenes.
- Laboratorio Químico y de Metalurgia.
- Core Shack.
- Polvorín.
- Relleno Sanitario.
- Plataformas de exploración
- Canteras.
- Obras civiles producto de la operación o exploración.

**Figura 21.** *Entrada a operaciones en mina subterránea.*



Figura 22. Planta de beneficio.



El servicio de SST es realizado mediante el área de Seguridad Industrial, la cual abarca la gestión de SST y la supervisión de operaciones en las áreas para lo cual hace uso de varias técnicas de seguridad como:

- Inspecciones de seguridad (ver figura 23).
- Análisis de trabajo.
- Investigación de accidentes e incidentes (ver figura 24).
- Notificación y registro de accidentes.
- Normalización, estándares y PETS.
- Análisis estadístico, meramente descriptivo.
- Formación constante.

Figura 23. Registro de inspección de seguridad.

INSPECCION SEMANAL DE MATPEL - SEMANA 03															
Tipo de Inspección :		PLANEADA MENSUAL: <input type="checkbox"/>	PLANEADA CSSO <input type="checkbox"/>	PLANEADA GERENCIA <input checked="" type="checkbox"/>	NO PLANEADA <input checked="" type="checkbox"/>	OTRO: x ... Semanal.....									
RAZÓN SOCIAL:		RUC:		DOMICILIO:		ACTIVIDAD ECONOMICA:		UNIDAD DEPENDENCIA:		N° TRABAJADORES EN EL CENTRO LABORAL:					
UNIDAD/PROYECTO:				EQUIPO DE INSPECTORES:											
FECHA: ...14/01/2018..... Hora de Inicio: 09:00 Total Horas: 30 min				APELLIDOS Y NOMBRES				CARGOS		FIRMAS					
ÁREAS INSPECCIONADAS:				RESPONSABLES DE ÁREA INSPECCIONADAS:											
OBJETIVO DE LA INSPECCION:		MEJORA CONTINUA													
ITEM		SECCIÓN / ZONA LABORAL		EVIDENCIA DEL RECONOCIMIENTO POSITIVO (Puede incluirse fotos).											
ITEM	SECCIÓN / ZONA LABORAL	Causa: Acto / Condiciones Subestándar		OBSERVACIONES	EVIDENCIA DE OBSERVACIÓN	CLASIFICACIÓN DE PELIGRO			MEDIDA CORRECTIVA / PREVENTIVA	RESPONSABLE	FECHA DE CUMPLIMIENTO	EVIDENCIA DE CUMPLIMIENTO		SEGUIMIENTO	
		AS	CS			A	B	C				NOMBRE	%		
1	Sala de ataque químico		X	Se observa equipo dosificador de ácido nítrico con el rótulo y rombo NFPA ilegible.				X	Reemplazar rótulo y rombo NFPA.	Laboratorio Químico	19/01/2018		Máximo Mendoza	100%	



Figura 24. Registro de informe final de investigación de accidente o incidente.

INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES/ INCIDENTES																																				
NUMERO	2																																			
<p style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> ACCIDENTE  <input type="checkbox"/> LEVE  <input type="checkbox"/> HOSPITALITARIO  <input type="checkbox"/> DAÑO A LA PROPIEDAD/PROCESO  <input type="checkbox"/> CUASACCIDENTE  <input type="checkbox"/> ENFERMEDAD OCUPACIONAL                 </p>																																				
<p><b>IDENTIFICACION DE LA UNIDAD MINERA</b></p> <p>1. Nombre de la Unidad Minera: <b>COMPAÑIA MINERA ANDES S.A.C.</b></p> <p>2. Nombre del Proyecto: <b>MINA COLLA COLLOMINA - VE. VIRA EL VIRA - IMPERIO DE BOLIVIA - URB. VIRA</b></p> <p>3. Nombre del Área: <b>MINA</b></p> <p>4. Nombre del Departamento: <b>MINA</b></p> <p>5. Nombre del Subdepartamento: <b>MINA</b></p> <p>6. Nombre del Centro de Trabajo: <b>MINA</b></p>																																				
<p><b>FECHA DEL ACCIDENTE/ INCIDENTE</b></p> <p>Fecha del accidente/incidente: <b>04-01-2019</b></p> <p>Hora: <b>8:45 a.m.</b></p> <p>Lugar del accidente/incidente: <b>4 de Agosto de 1984</b></p>																																				
<p><b>IDENTIFICACION DEL PERSONAL INVOLUCRADO</b></p> <p>Nombre del personal involucrado: <b>Walter Gutiérrez</b></p> <p>Cargo: <b>Operario</b></p> <p>Fecha de nacimiento: <b>4 de Agosto de 1984</b></p> <p>Edad: <b>33 años</b></p> <p>Sexo: <b>M</b></p> <p>Identificación: <b>4500100</b></p> <p>Nombre de la Empresa: <b>COMPAÑIA MINERA ANDES S.A.C.</b></p>																																				
<p><b>DESCRIPCION DEL ACCIDENTE/ INCIDENTE</b></p> <p>Descripción del hecho: <b>Equipos, vehículo dañado.</b></p> <p>Según el tipo: <b>Cuasi accidente.</b></p> <p>Según el origen: <b>Cuasi accidente.</b></p>																																				
<p><b>IDENTIFICACION DE LA VICTIMA/ INTERVINO</b></p> <p>Nombre: <b>Walter Gutiérrez</b></p> <p>Cargo: <b>Operario</b></p> <p>Fecha de nacimiento: <b>4 de Agosto de 1984</b></p> <p>Edad: <b>33 años</b></p> <p>Sexo: <b>M</b></p> <p>Identificación: <b>4500100</b></p> <p>Nombre de la Empresa: <b>COMPAÑIA MINERA ANDES S.A.C.</b></p>																																				
<p><b>CAUSAS BÁSICAS</b></p> <p><b>FACTORES PERSONALES</b></p> <p><input type="checkbox"/> 1. Capacidad fisiológica inadecuada</p> <p><input type="checkbox"/> 2. Capacidad mental / Psicológica inadecuada</p> <p><input type="checkbox"/> 3. Estado Físico Psicológico</p> <p><input type="checkbox"/> 4. Características Psicológicas</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> 5. Falta de competencia</p> <p><input type="checkbox"/> 6. Motivación inadecuada</p> <p><b>FACTORES DE TRABAJO</b></p> <p><input type="checkbox"/> 7. Estructura Organizativa Poco Clara</p> <p><input type="checkbox"/> 8. Librería Inadecuada</p> <p><input type="checkbox"/> 9. Inadecuada Supervisión / Coaching</p> <p><input type="checkbox"/> 10. Inadecuada Administración de Cambio</p> <p><input type="checkbox"/> 11. Inadecuada Administración de la cadena de Comandos.</p> <p><input type="checkbox"/> 12. Inadecuada Mantenimiento / Inspección</p> <p><input type="checkbox"/> 13. Designat Exceso</p> <p><input type="checkbox"/> 14. Inadecuada Ventemera / Equipo / Maquinaria / Dispositivo</p> <p><input type="checkbox"/> 15. Inadecuada Diseño de producto / Servicio</p> <p><input type="checkbox"/> 16. Inadecuada Estándares de trabajo / Producción</p> <p><input type="checkbox"/> 17. Inadecuada Comunicación / Información</p>																																				
<p><b>DESCRIPCION DE CAUSAS BÁSICAS</b></p> <p><b>IDENTIFICACION DE CAUSAS BÁSICAS</b></p> <p>1. Falta de capacitación / entrenamiento del personal de operación y mantenimiento en los procesos de trabajo de emergencia y prevención de riesgos.</p> <p>2. Motivación inadecuada del personal de operación y mantenimiento en el cumplimiento de sus deberes y responsabilidades.</p>																																				
<p><b>FACTORES DE TRABAJO</b></p> <p>1. Inadecuada Mantenimiento / Inspección</p> <p>2. Inadecuada Comunicación / Información</p>																																				
<p><b>AREAS DE CONTROL PARA ACCIONES DE MEJORA</b></p> <p><input type="checkbox"/> 1. LIDERAZGO</p> <p><input type="checkbox"/> 2. PLANEAMIENTO Y ADMINISTRACIÓN</p> <p><input type="checkbox"/> 3. EVALUACION DE RESGOS</p> <p><input type="checkbox"/> 4. RECURSOS HUMANOS</p> <p><input type="checkbox"/> 5. GARANTIA DE CUMPLIMIENTO / CONFORMIDAD</p> <p><input type="checkbox"/> 6. GESTION DE PROYECTOS</p> <p><input type="checkbox"/> 7. CAPACITACION / COMPETENCIA</p> <p><input type="checkbox"/> 8. COMUNICACIONES Y PRODUCCIONES</p> <p><input type="checkbox"/> 9. CONTROL DE RESGOS</p> <p><input type="checkbox"/> 10. GESTION DE ACTIVOS</p> <p><input type="checkbox"/> 11. GESTION DE CONTRATISTAS Y COMPRAS</p> <p><input type="checkbox"/> 12. PREPARACION DE EMERGENCIAS</p> <p><input type="checkbox"/> 13. APRENDER DE LOS EVENTOS</p> <p><input type="checkbox"/> 14. MONITOREO DE RESGOS</p> <p><input type="checkbox"/> 15. RESULTADO Y REVISION</p>																																				
<p><b>INFORMACION ADICIONAL:</b></p> <p>1. Descripción del accidente/incidente: <b>Equipos, vehículo dañado.</b></p> <p>2. Descripción del hecho: <b>Equipos, vehículo dañado.</b></p> <p>3. Descripción del hecho: <b>Equipos, vehículo dañado.</b></p>																																				
<p><b>PLAN DE ACCIÓN CORRECTIVA / PREVENTIVA</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>PROBLEMA</th> <th>ACCIÓN CORRECTIVA / PREVENTIVA</th> <th>RESPONSABLE</th> <th>FECHA PREVISTA</th> <th>FECHA REALIZADA</th> <th>VERIFICACION</th> <th>EFECT. (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. Inadecuada Mantenimiento / Inspección</td> <td>Realizar un taller de capacitación sobre el uso de los equipos de trabajo y mantenimiento en los procesos de trabajo de emergencia y prevención de riesgos.</td> <td>Residencia Doca</td> <td>15/01/2019</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2. Motivación inadecuada del personal de operación y mantenimiento en el cumplimiento de sus deberes y responsabilidades.</td> <td>Realizar un taller de capacitación sobre el uso de los equipos de trabajo y mantenimiento en los procesos de trabajo de emergencia y prevención de riesgos.</td> <td>Residencia Doca</td> <td>31/01/2019</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3. Falta de capacitación / entrenamiento del personal de operación y mantenimiento en los procesos de trabajo de emergencia y prevención de riesgos.</td> <td>Realizar un taller de capacitación sobre el uso de los equipos de trabajo y mantenimiento en los procesos de trabajo de emergencia y prevención de riesgos.</td> <td>Residencia Doca</td> <td>31/01/2019</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4. Inadecuada Comunicación / Información</td> <td>Realizar un taller de capacitación sobre el uso de los equipos de trabajo y mantenimiento en los procesos de trabajo de emergencia y prevención de riesgos.</td> <td>Residencia Doca</td> <td>31/01/2019</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		PROBLEMA	ACCIÓN CORRECTIVA / PREVENTIVA	RESPONSABLE	FECHA PREVISTA	FECHA REALIZADA	VERIFICACION	EFECT. (%)	1. Inadecuada Mantenimiento / Inspección	Realizar un taller de capacitación sobre el uso de los equipos de trabajo y mantenimiento en los procesos de trabajo de emergencia y prevención de riesgos.	Residencia Doca	15/01/2019				2. Motivación inadecuada del personal de operación y mantenimiento en el cumplimiento de sus deberes y responsabilidades.	Realizar un taller de capacitación sobre el uso de los equipos de trabajo y mantenimiento en los procesos de trabajo de emergencia y prevención de riesgos.	Residencia Doca	31/01/2019				3. Falta de capacitación / entrenamiento del personal de operación y mantenimiento en los procesos de trabajo de emergencia y prevención de riesgos.	Realizar un taller de capacitación sobre el uso de los equipos de trabajo y mantenimiento en los procesos de trabajo de emergencia y prevención de riesgos.	Residencia Doca	31/01/2019				4. Inadecuada Comunicación / Información	Realizar un taller de capacitación sobre el uso de los equipos de trabajo y mantenimiento en los procesos de trabajo de emergencia y prevención de riesgos.	Residencia Doca	31/01/2019			
PROBLEMA	ACCIÓN CORRECTIVA / PREVENTIVA	RESPONSABLE	FECHA PREVISTA	FECHA REALIZADA	VERIFICACION	EFECT. (%)																														
1. Inadecuada Mantenimiento / Inspección	Realizar un taller de capacitación sobre el uso de los equipos de trabajo y mantenimiento en los procesos de trabajo de emergencia y prevención de riesgos.	Residencia Doca	15/01/2019																																	
2. Motivación inadecuada del personal de operación y mantenimiento en el cumplimiento de sus deberes y responsabilidades.	Realizar un taller de capacitación sobre el uso de los equipos de trabajo y mantenimiento en los procesos de trabajo de emergencia y prevención de riesgos.	Residencia Doca	31/01/2019																																	
3. Falta de capacitación / entrenamiento del personal de operación y mantenimiento en los procesos de trabajo de emergencia y prevención de riesgos.	Realizar un taller de capacitación sobre el uso de los equipos de trabajo y mantenimiento en los procesos de trabajo de emergencia y prevención de riesgos.	Residencia Doca	31/01/2019																																	
4. Inadecuada Comunicación / Información	Realizar un taller de capacitación sobre el uso de los equipos de trabajo y mantenimiento en los procesos de trabajo de emergencia y prevención de riesgos.	Residencia Doca	31/01/2019																																	
<p><b>CONDICIONES DE INVESTIGACIÓN (Equipo Investigador)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>EQUIPO DE INVESTIGACION/RESPONSABLE DEL REGISTRO</th> <th>CARGO</th> <th>FIRMA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Walter Gutiérrez</td> <td>Ing. Asesoramiento DUSA</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Walter Gutiérrez</td> <td>Ing. de Seguridad DUSA</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Walter Gutiérrez</td> <td>Representante de Trabajadores DUSA</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		EQUIPO DE INVESTIGACION/RESPONSABLE DEL REGISTRO	CARGO	FIRMA	Walter Gutiérrez	Ing. Asesoramiento DUSA		Walter Gutiérrez	Ing. de Seguridad DUSA		Walter Gutiérrez	Representante de Trabajadores DUSA																								
EQUIPO DE INVESTIGACION/RESPONSABLE DEL REGISTRO	CARGO	FIRMA																																		
Walter Gutiérrez	Ing. Asesoramiento DUSA																																			
Walter Gutiérrez	Ing. de Seguridad DUSA																																			
Walter Gutiérrez	Representante de Trabajadores DUSA																																			
<p><b>CONDICIONES SUBESTÁNDARES</b></p> <p>1. Operar equipos en autorización</p> <p>2. Operar de manera adecuada</p> <p>3. Operar de manera adecuada / correcta</p> <p>4. Operar a velocidad inadecuada</p> <p>5. Desactivar o anular dispositivos críticos de seguridad</p> <p>6. Uso de herramientas/Equipos/ Maquinaria/Operadores inadecuados</p> <p>7. Operación inadecuada de maquinaria/ Equipos/ Maquinaria</p> <p>8. Mantenimiento inadecuado de Equipos/ Maquinaria en funcionamiento</p> <p>9. Uso de Material Inadecuado/ Inadecuado</p> <p>10. No usar correctamente el equipo de Protección Personal - EPP</p> <p>11. Operación incorrecta de carga</p> <p>12. Operación incorrecta de lubricación</p> <p>13. Operación incorrecta de freno</p> <p>14. Posición incorrecta de la línea</p> <p>15. Comportamiento Inadecuado/ Inadecuado</p> <p>16. Bajo la influencia de Medicación/ Alcohol/ drogas</p> <p>17. No seguir Procedimientos/ Instrucciones</p> <p>18. No identificar peligros</p> <p>19. Acto subestándar por parte de agente externo ( que no está bajo control propio)</p> <p>20. No identificar resultados de chequeo/ Partes Inadecuadas</p> <p>21. No cumplir los requisitos de chequeo/ Partes Inadecuadas</p> <p>22. Distorsión Óptica/ ruidos, resacas, quemado</p> <p>23. Actividad adictiva</p> <p>24. Actividad adictiva</p> <p>25. Actividad adictiva</p>																																				
<p><b>CONDICIONES SUBESTÁNDARES</b></p> <p>26. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>27. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>28. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>29. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>30. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>31. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>32. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>33. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>34. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>35. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>36. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>37. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>38. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>39. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>40. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>41. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>42. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>43. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>44. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>45. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>46. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>47. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>48. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>49. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>50. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>51. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>52. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>53. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>54. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>55. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>56. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>57. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>58. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>59. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>60. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>61. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>62. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>63. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>64. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>65. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>66. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>67. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>68. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>69. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>70. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>71. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>72. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>73. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>74. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>75. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>76. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>77. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>78. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>79. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>80. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>81. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>82. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>83. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>84. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>85. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>86. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>87. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>88. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>89. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>90. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>91. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>92. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>93. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>94. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>95. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>96. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>97. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>98. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>99. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p> <p>100. Herramienta/ Equipo Inadecuado</p>																																				

Además, la Unidad Minera cuenta con un aplicativo para el registro de datos producto de inspecciones de seguridad (las realizadas de manera informal principalmente) y de la investigación de accidentes e incidentes, el cual se denominará Aplicativo de ahora en adelante. El aplicativo registra:

- Actos y condiciones subestándares.
- Causas inmediatas y básicas de accidentes e incidentes (modelo de causalidad de pérdidas).

- Resultados de observaciones de tareas operativas (OTO).
- Resultados de observaciones planificadas de trabajo (OPT).

**Figura 25.** *Aplicativo de reporte de actos, condiciones, OTO y OPT.*

Bienvenido, JAVIER AGUSTO NEYRA MONROY  
Fecha Actual : 16/01/2018  
Crear Sesión

Buenos días, JAVIER AGUSTO NEYRA MONROY  
Bienvenido a la plataforma de Gestión de Seguridad

Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

Mis Tareas Pendientes

- Hallazgo (1)
  - Acto (0)
  - Condición (1)
  - Por Clasificar (0)
  - Incidente (0)
  - Accidente (0)
  - OPT (0)

Activar Windows  
Ve a Configuración para activar Windows.

Bienvenido, JAVIER AGUSTO NEYRA MONROY  
Fecha Actual : 16/01/2018  
Crear Sesión

Inicio | Búsqueda | Registros

→ DATOS GENERALES DEL HALLAZGO / INCIDENTE / ACCIDENTE

Unidad / Dependencia: U.O. ALCARÁ  
 Fecha del Reporte: 16/01/2018  
 Área donde ocurre o se identifica el Evento: [SELECCIONE]  
 Fecha del Evento: 16/01/2018  
 Tipo Evento: [SELECCIONE]  
 Hora del Evento: 08:21:04 AM  
 Área que resuelve el Evento: [SELECCIONE]  
 Lugar del Evento:  
 Reportado por: JAVIER AGUSTO NEYRA MONROY  
 Descripción del Evento:  
 ¿Desde cuándo? ¿Cuál estuvo involucrado? ¿Resuelto qué?  
 Faltar 500 caracteres (Máxima cantidad de caracteres: 500)  
 Por qué?  
 Faltar 500 caracteres (Máxima cantidad de caracteres: 500)  
 Imágenes y Fotos. (Tamaño máximo 3 MB por foto / Máx. 5 Fotos)  
 Seleccionar / Adjuntar Imágenes del Evento:

Nombre	Tamaño	Tipo	Valor Puntaje	Eliminar
Página 1 de 1				

Activar Windows  
Ve a Configuración para activar Windows.

El aplicativo permite la exportación de datos mediante Microsoft Excel, lo cual ha sido usado para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

En base a esto, se han podido recopilar y establecer parámetros de lo siguiente:

- Número de actos y condiciones subestándares por cada nivel de riesgo.

- Número de sucesos.
- Número de observaciones de tareas operativas.
- Número de observaciones de inspecciones por cada nivel de riesgo.
- Gravedad de sucesos.
- Número de trabajadores.

Todos estos datos pueden ser obtenidos por cada área y empresa contratista.

Todos estos datos son administrados por el Servicio de SST de la Unidad Minera y para el trabajo de investigación fueron usados los datos generados durante el período de mayo 2017 hasta junio 2019 (24 meses calendarios), por lo que toda la información declarada es para el período de tiempo en mención.

Además, cabe indicar que, en el caso de los actos y condiciones subestándar reportados en el aplicativo, la unidad sujeta de estudio hace un seguimiento diario del levantamiento de las mismas y un seguimiento semanal de planes de acción implementados para los tipos de actos u condiciones más frecuentes en cada empresa contratista recurrente y área de la empresa.

En cuanto al resto, el servicio de seguridad y salud en el trabajo:

- Realiza un seguimiento continuo para el cierre de las acciones producto de las investigaciones de accidentes e incidentes.
- Realiza un seguimiento continuo para el levantamiento de las observaciones producto de inspecciones.
- Revisa que se hayan reportado OTOs y se premia por sorteo a aquellos trabajadores que lo realizaron sin presentar desviaciones.

Por último, cabe indicar que la empresa tiene como objetivos de SST, metas para los indicadores de frecuencia, severidad y accidentabilidad; los cuales son actualizados de manera anual.

## 4. CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

### 4.1. Alcance de la Investigación

Según Hernández et. al (2014) y Ramos-Galarza (2020), existen cuatro (04) alcances que puede tener una investigación:

- Exploratorio: Utilizado cuando se estudia un objeto o tema poco estudiado y se buscan conocer sus características. Normalmente anteceden a investigaciones con otros alcances. Por ejemplo, investigaciones sobre el Covid-19.
- Descriptivo: Utilizado cuando ya se ha estudiado el objeto o tema, pero se busca especificar propiedades, las características entre otros fenómenos. Por ejemplo, estudio que busque describir a varias empresas mineras en base a su desempeño en SST.
- Correlacional: Utilizado cuando se busca establecer la relación entre dos (02) o más variables. Por ejemplo, estudio que busque saber si la edad del trabajador afecta a la probabilidad de que se accidente en el trabajo.
- Explicativo: Utilizado cuando se quiere responder las causas de los eventos y fenómenos, es decir explicar el por qué ocurre un fenómeno, en qué condiciones se manifiesta y por qué existe relación entre dos variables. Por ejemplo, estudio que busque determinar las principales causas de accidentabilidad.

Cabe indicar que, si bien una investigación puede caracterizarse por alguno de estos alcances, no necesariamente dejará de usar el resto de alcances e incluso una investigación puede iniciar con un alcance e ir transitando por el resto de los mismos.

El presente estudio desarrolló en primer momento un alcance descriptivo debido a que analizó la situación actual del sujeto de estudio describiendo características asociadas a la SST, para luego ser de alcance correlacional al analizar la relación entre las variables de SST y los accidentes de trabajo. Mediante

esto se buscó explicar cuándo puede suceder un accidente de trabajo en base a la ocurrencia de determinadas variables (estudio explicativo).

Finalmente, como parte del presente estudio se propuso una metodología para la prevención de accidentes a través de la explicación hallada previamente.

#### **4.2. Enfoque del Estudio**

Hernández et al. (2014) indica que existen dos principales enfoques de investigación, los cuales son:

- Cuantitativo: Prueba de hipótesis mediante la recolección de datos en base a medición numérica y análisis estadístico.
- Cualitativo: Utiliza los datos recolectados para afinar las preguntas de investigación y revelar nuevas interrogantes.

Ninguno de los enfoques es mejor que el otro, sino diferentes e incluso ambos enfoques pueden presentarse en una misma investigación (enfoque mixto).

Para el presente estudio, se hizo uso de los dos (02) enfoques; ya que en un inicio se utilizaron los datos numéricos y análisis estadístico para establecer el modelo predictivo (enfoque cuantitativo).

#### **4.3. Recolección de Información**

Para la presente investigación se realizó la revisión de registros existentes, los cuales son generados por el servicio de SST del sujeto de estudio, como se ha descrito en 3.3 (fuente secundaria). Estos, a su vez, han sido recolectados mediante observación y entrevista.

Se utilizaron inspecciones informales y formales (formatos de inspección y OTO) que son registradas mediante el Aplicativo y bajo documentos en Ms. Excel que maneja el Servicio SST.

En el caso de accidentes e incidentes, la información fue registrada en el informe final de investigación, el cual detalla información obtenida mediante observación y entrevistas. Cabe indicar que, en el caso de las causas de accidentes, esta información fue completada en base a los datos recopilados, pero existe un factor subjetivo, ya que depende de los criterios del equipo investigador.

Además, los datos del número de trabajadores en las empresas que trabajan en el sujeto de estudio fueron proporcionados por el área responsable, el área de recursos humanos, de manera mensual. Dicha información fue obtenida a través del registro de planillas de cada una de las empresas.

Cabe indicar que toda la información recolectada es administrada por el servicio de SST del sujeto de estudio mediante archivos de Excel<sup>2</sup> ya sea completados manualmente o exportados desde el aplicativo. La información abarca desde mayo 2017 hasta junio 2019.

Por último, solo se consideró a las áreas y empresas contratistas que tenían información constante en el Aplicativo (hallazgos y OTOs), inspecciones y que realicen actividades de trabajo con presencia de riesgo medio o alto de manera rutinaria y que no solo realicen supervisión o trabajos de oficina principalmente<sup>3</sup>. Por lo que no se incluyó a las siguientes áreas:

- Planeamiento: Personal realiza principalmente trabajo en oficina y visitas no rutinarias a las áreas de trabajo donde existen actos y condiciones subestándares de manera rutinaria.
- Salud e Higiene: Personal médico que permanece normalmente en el policlínico. Hay un personal de higiene que recorre la mina, pero realiza principalmente la supervisión y liberación de áreas con concentraciones de gases permisibles.

---

<sup>2</sup> Se pudo tener acceso a esta información debido a que el investigador desempeña funciones en el sujeto de estudio. Para garantizar la protección de la misma se encriptará cierta información mediante el uso de códigos.

<sup>3</sup> Para poder hacer distinción, se consideró solo a las áreas que realizan una identificación de peligros, evaluación de riesgos y determinación de riesgos de manera rutinaria (IPERC continuo según el RSSO en minería).

- Tecnología de la Información (TI): Personal que permanece normalmente en las oficinas revisando los ordenadores y solucionando problemas asociados a TI. Hacen trabajos con un riesgo alto de accidente (reparación de conexiones) pero de manera no rutinaria.
- Relaciones Comunitarias: Personal que realiza trabajos de oficina dentro de las instalaciones de la unidad pero que normalmente realiza viajes y coordinaciones fuera de la unidad.
- Seguridad Civil: Personal que realiza trabajo en oficina y transporte al interior de la unidad, principalmente supervisión.
- Contabilidad, Productividad y Costos: Personal que realiza trabajo en oficina y visitas puntuales a las áreas de trabajo con condiciones subestándares de riesgo medio y alto.
- No se consideró al área correspondiente al servicio de seguridad y salud en el trabajo, ya que no realizan OTOs ni inspecciones formales.

#### **4.4. Limpieza y Preparación de la Información Recolectadas**

La información recolectada se analizó para obtener un resultado por unidades de área/empresa-mes, es decir, se detallaron los resultados de cada variable por cada área o empresa contratista en el período de un mes. Para esto se realizó una limpieza previa de la información recolectada. La limpieza utilizada en cada fuente de información se detalla en cada subcapítulo.

##### **4.4.1. Reporte de Acto y/o Condición Subestándar.**

Los actos o condiciones subestándares reportados al aplicativo son denominados hallazgos. Al momento de exportar el Excel del total de hallazgos reportados al aplicativo, se obtuvo la siguiente información, la cual fue previamente solicitada a los usuarios del aplicativo al momento de su reporte o levantamiento<sup>4</sup> en el aplicativo:

---

<sup>4</sup> Por levantamiento se entiende a la acción de eliminar y/o mitigar el hallazgo encontrado con la finalidad de cumplir con los estándares del sujeto de estudio y/o reducir el nivel de riesgo de SST.

- Código de observación: Código único designado a cada hallazgo.
- Unidad /dependencia: El sujeto de estudio es una unidad minera dependiente de un corporativo. Al ser todos los datos del sujeto de estudio, este dato se mantiene igual en todos los hallazgos.
- Área del evento: Área del sujeto de estudio donde ocurrió el hallazgo. En el caso de darse el hallazgo en instalaciones de empresas contratistas, se registraba el área del sujeto de estudio que administra su contrato.
- Área responsable del evento: Área responsable del levantamiento del hallazgo. En el caso de ser responsabilidad de empresas contratistas, se registraba el área del sujeto de estudio que administra su contrato.
- Fecha del evento: Fecha en que ocurrió el hallazgo
- "Reportado por": Usuario del aplicativo que ha realizado el reporte del hallazgo. En el caso de ser reportado por personal de alguna empresa contratista solamente aparecía el usuario genérico designado a cada empresa contratista.
- Usuario designado: Usuario al cual se le designa la responsabilidad de levantar el hallazgo. Si la responsabilidad es de alguna empresa contratista, aparecía el usuario genérico designado.
- Usuario designado alterno: Usuario al cual se le designa la responsabilidad de levantar el hallazgo en caso no puede levantarla el usuario designado inicialmente. Si la responsabilidad es de alguna empresa contratista, aparecía el usuario genérico designado.
- Fecha del reporte: Fecha en la que se subió el reporte del hallazgo al aplicativo.
- Lugar del evento: Descripción del lugar donde ocurrió el hallazgo.
- Descripción del evento: Descripción del hallazgo.
- Tipo de evento: En el aplicativo también se pueden reportar sucesos. Para el caso de los hallazgos, todos salieron con el dato de Hallazgo de Acto Condición.
- Estado: Se colocaba cerrado cuando alguno de los usuarios designados ha levantado el hallazgo, de lo contrario se mantenía como abierto.



- Medida Correctiva: Descripción del levantamiento realizado por alguno de los usuarios
- Tipo: Dependiendo de la descripción del hallazgo, se tipificaba el hallazgo según el tipo de accidente que puede generar según la Tabla 10 del Anexo N° 31 del RSSO en Minería y otros tipos como orden y limpieza, señalización, etc.
- Nivel de Riesgo: Se clasificaba en escala de bajo, medio y alto según lo indicado por el Anexo N° 7 del RSSO en Minería detallado en la tabla 8.

**Tabla 8.** Nivel de Riesgo.

NIVEL DE RIESGO	DESCRIPCIÓN	PLAZO DE MEDIDA CORRECTIVA
<b>ALTO</b>	Riesgo intolerable, requiere controles inmediatos. Si no se puede controlar el PELIGRO se paralizan los trabajos operacionales en la labor.	0 – 24 horas
<b>MEDIO</b>	Iniciar medidas para eliminar/reducir el riesgo. Evaluar si la acción se puede ejecutar de manera inmediata.	0 – 72 horas
<b>BAJO</b>	Este riesgo puede ser tolerable.	1 mes

- Clasificación: Se clasificaba el hallazgo como acto subestándar o condición subestándar.

Ante de pasar a la etapa de análisis, se realizó una limpieza de los datos debido a:

- Varias áreas registradas en el aplicativo no coincidían con las áreas que existen en el sujeto de estudio o había existido errores en la designación de áreas, por lo que se realizó la designación de las áreas correspondientes según la descripción del hallazgo, el lugar, el usuario que reportó y los

usuarios designados en base al conocimiento de la situación del sujeto de estudio por parte del investigador.

- No existía un atributo que indicara cuál era la empresa afectada por el hallazgo, ni de qué empresa era la responsabilidad por lo que se agregaron dos (02) atributos: “Empresa Evento” y “Empresa Responsable”, los cuales se obtuvieron según los atributos de descripción del evento, lugar del evento, Reportado por (usuario que reporta) y los usuarios designados y el conocimiento de la situación del sujeto por parte del investigador. Para el caso de que el hallazgo fuese en un área que dependía enteramente de personal de la empresa que administra el sujeto de estudio, se indicaba CIA.
- En cuanto al área de evento o empresa evento, se registró el área o empresa que esté siendo más afectada por el hallazgo (en materia de SST) y/o el área o empresa del usuario que reporta el hallazgo.
- En cuanto al área responsable de evento y empresa responsable, se registró el área o empresa que tenga mayor responsabilidad en el levantamiento del hallazgo y/o el área o empresa del usuario asignado, incluido el alterno.
- Solamente se tenía la fecha del hallazgo, por lo que mediante fórmula Excel se agregó un atributo adicional que es “Mes-Año” que indicaba el mes y el año en el que ocurrió el evento.
- El atributo Tipo tenía clasificaciones muy diversas, como:
  - El tipo de accidente que podría ocurrir de no levantar el hallazgo.
  - El tipo de hallazgo según su naturaleza.

Esto generaba la existencia de ciertos hallazgos que podrían entrar en dos tipos diferente de clasificaciones. Por ejemplo, un hallazgo cuya descripción de evento sea “No usar el arnés de seguridad” podría ser clasificado como “Caída de Personas” o “Falta / No uso de EPP”, estando registrado solamente una de las dos clasificaciones.

Por lo que, se agregó un atributo llamado “Tipo Evento” que registra el tipo de causa inmediata correspondiente al hallazgo según el listado indicado en la Tabla 6 con la finalidad de evitar que un hallazgo pueda entrar en dos o

más clasificaciones y relacionar el tipo de hallazgo con las causas inmediatas señaladas en los informes de investigación de accidentes / incidentes. Este nuevo atributo se halló mediante la descripción del hallazgo y de Tipo y se hizo en base al conocimiento de la situación del sujeto de estudio por parte del investigador.

- Se eliminaron hallazgos que:
  - Fueron reportados como prueba para explicar el funcionamiento del aplicativo.
  - Repetidos.
  - No se completaron todos los atributos.

En base a esta limpieza previa y con el fin de lograr el objetivo del presente estudio, cada hallazgo (codificado con numeración secuencial) solo se registró con los siguientes atributos:

- Empresa / Área - Evento: Se colocó la empresa contratista o el área de compañía donde ocurrió el hallazgo y/o la que fue afectada directamente por su ocurrencia. Este atributo juntaba los atributos de “Empresa – Evento” y “Área del evento”.
- Empresa / Área - Responsable: Se colocó la empresa contratista o el área de compañía que era responsable del levantamiento del hallazgo. Este atributo juntaba los atributos de “Empresa Responsable” y “Área responsable del evento”.
- Mes – Año: Se colocó el mes y año de ocurrencia del hallazgo.
- Nivel de Riesgo: Se colocó el nivel de riesgo de cada hallazgo en base a lo indicado en 4.3.
- Tipo – Evento, el cual es utilizado al momento de proponer la metodología de prevención de accidentes y que describe.

Para el período que abarca el presente estudio se obtuvo 15906 hallazgos, divididos en 3626 actos y 12280 condiciones subestándares.

#### **4.4.2. Reporte de Observación de Tarea Operativa (OTO).**

El OTO se denomina al proceso de observación de un/unos trabajadores (es) en ejecución de sus tareas y recopilación de las conductas positivas y negativas en su ejecución, utilizando los sentidos (ojos, oído, olfato, tacto y gusto). Cuando se observó una conducta positiva se realizó un reforzamiento positivo y si se observó una conducta negativa, se corrigió de inmediato de ser posible; de no ser posible, se comunicó al servicio de SST.

Todos los OTOs son reportados mediante el Aplicativo y al momento de exportar el Excel del total de OTOs reportados, se obtuvo la siguiente información:

- Código: Código único designado a cada OTO.
- Tipo de OTO: En el año 2019 se tuvieron dos tipos de OTO, uno destinado a los trabajos en interior de mina y otro a los realizados en la superficie, por lo que se registraba si la OTO es de Mina o Superficie.
- Unidad / Dependencia: De la misma forma que lo detallado en 4.4.1.
- Área Observada: Área del sujeto de estudio donde se realiza la OTO. Si la OTO se da en una empresa contratista, se registraba el área del sujeto de estudio que administra su contrato.
- Fecha de Observación: Fecha en la que se realizó la OTO.
- "Observado Por": Usuario del aplicativo que realizó el reporte de la OTO. En el caso de ser reportado por personal de alguna empresa contratista solamente aparecía el usuario genérico designado a cada empresa contratista.
- Tarea Observada: Descripción de la tarea que ha sido observada.
- ¿Es bien Hecho?: Se coloca SÍ cuando no se haya detectado alguna desviación según las preguntas indicadas en el Anexo A, caso contrario se coloca NO. El tener una OTO con resultado negativo significa que ha ocurrido un acto subestándar.
- Observaciones: De haber alguna desviación, se detallaba la desviación.
- Sector / Zona: Descripción del lugar donde se realizó la OTO.

- Turno Observado: Se coloca día o noche según la hora en la que se realizó la OTO.
- Nombres Observados: Se registraba los nombres de los trabajadores que fueron observados durante el desarrollo de su tarea.
- Guardia Observada: Se registraba la guardia a la que pertenece el personal observado, las guardias pueden ser 1-A, 2-B y 3-C.

Ante de pasar a la etapa de análisis, se realizó una limpieza de los datos debido por las mismas razones explicadas en el Reporte de Acto y/o Condición Subestándar, solamente que en este caso no existe el área o empresa responsable ni el atributo asociado al Tipo y que se creó un atributo “Empresa Observada” cuya función es similar al atributo “Empresa Evento” creado para el análisis de los reportes de hallazgos.

En base a esta limpieza previa y con el fin de lograr el objetivo del presente estudio, cada OTO (codificado con numeración secuencial) solo se registró con los siguientes atributos:

- Empresa / Área - Evento: Se colocó la empresa contratista o el área de compañía donde se realizaba la actividad registrada en el OTO. Este atributo juntaba los atributos “Área observada” y “Empresa observada”.
- Mes – Año: Se colocó el mes y año de ocurrencia del OTO.
- Resultado - OTO: Se colocó “SÍ” cuando no se encontraron desviaciones en el OTO y “NO” cuando se encontraron desviaciones. Este atributo reemplaza al “¿Es bien hecho?”.

Para el período que abarca el presente estudio se obtuvo 3361 OTOs, divididos en 279 con resultado negativo y 3001 con resultado positivo.

#### **4.4.3. Inspecciones Formales**

En el sujeto de estudio existen cuatro tipos de inspecciones formales:

- Planeadas: Realizadas de manera mensual a cada área de la empresa que administra el sujeto de estudio (compañía) y empresa contratista en un lugar de su responsabilidad. En el caso de las realizadas en las áreas de la compañía, estas son realizadas por un personal del servicio de SST y un responsable del área, mientras que en el caso de la empresa contratista, estas son realizadas por un personal del servicio de SST de otra empresa contratista elegida aleatoriamente y responsables de la empresa contratista inspeccionada.
- Gerencial: Realizada de manera semanal, una es realizada en un lugar de la mina subterránea y otra es realizada en algún lugar de Superficie. Las personas que realizan la inspección son Gerencias, Superintendencias, jefaturas y los responsables de las áreas inspeccionadas.
- Comité: Se realiza de manera mensual por los miembros de Comité SST, una es realizada en un lugar de mina subterránea y otra es realizada en algún lugar de Superficie.
- Exigencia Legal: Según lo indicado en el RSSO de Minería, se tienen que realizar las siguientes inspecciones:
  - Bodegas – semanal. Solo en mina.
  - Talleres – semanal. Dos (02), una en mina y otra en superficie.
  - Polvorín – semanal. Dos (02), una en mina y otra en superficie.
  - Tolvas – semanal. Solo en mina.
  - Materiales peligrosos – semanal. Dos (02), una en mina y otra en superficie.
  - Instalaciones eléctricas – mensual. Dos (02), una en mina y otra en superficie.
  - Sistema de bombeo y drenaje – mensual. Solo en mina.
  - Escaleras portátiles – mensual.
  - Cables y sistema de izaje – mensual. Dos (02), una en mina y otra en superficie.
  - Escaleras portátiles – mensual. Dos (02), una en mina y otra en superficie.

- Echaderos – mensual. Solo en mina.
- Ascensor – mensual. Solo en superficie.
- Herramientas manuales – trimestral. Dos (02), una en mina y otra en superficie.
- Escaleras fijas – semestral. Dos (02), una en mina y otra en superficie.

Los resultados de las inspecciones, observaciones, eran registrados en un formato del sujeto de estudio (Excel) el cual incluye la siguiente información:

- Tipo de Inspección: Las indicadas previamente.
- Datos de la empresa inspeccionada: Se colocan datos como la razón social, RUC, número de trabajadores, dirección y actividades realizadas.
- Fecha de inspección.
- Hora de inspección.
- Duración de inspección.
- Áreas Inspeccionadas: Lugares que se visitaron durante la inspección. Ejemplo: Taller Trackless, Nivel 4500 de la mina, etc.
- Responsable de áreas inspeccionadas: Personas que son responsables de las operaciones en los lugares inspeccionados.
- Nombres y apellidos de inspectores.
- Cargos de los inspectores.
- Lugar: Lugar donde ocurrió la inspección. Puede ser el mismo indicado en área o darle mayor detalle como, por ejemplo: Taller de llantas, Nivel 4500 Ventana 3 Norte, etc.
- Acto o condición subestándar: Seleccionar si la observación ha sido acto o condición subestándar.
- Observaciones: Detalle de la observación.
- Evidencia de Observación: Fotografía o captura de pantalla de documento que evidencia la observación encontrada.
- Clasificación del Peligro: Nivel de riesgo de la observación.

- Medida correctiva / preventiva: Acción propuesta para el levantamiento de la observación.
- Responsable: Responsable de la ejecución de la medida correctiva.
- Plazo de Cumplimiento: Plazo máximo en el que se tiene que tener ejecutada la medida correctiva / preventiva.
- Evidencia de cumplimiento: Fotografía o captura de pantalla de documento que evidencia la ejecución de la medida correctiva / preventiva.
- Seguimiento: Persona que realiza el seguimiento del levantamiento de la observación.

Ante de pasar a la etapa de análisis, se realizó una limpieza de los datos debido a las mismas razones explicadas en el Reporte de Acto y/o Condición Subestándar.

En base a esta limpieza previa y con el fin de lograr el objetivo del presente estudio, cada observación (codificado con numeración secuencial) solo se registró con los siguientes atributos:

- Empresa / Área - Evento: Se registró la empresa contratista o el área de compañía donde ocurrió la observación y/o la que fue afectada directamente por su ocurrencia. Este atributo reemplaza el atributo empresa inspeccionada.
- Empresa / Área - Responsable: Se registró la empresa contratista o el área de compañía que era responsable del levantamiento de la observación. Este atributo juntaba los atributos de “Empresa Responsable” y “Área responsable del evento”.
- Mes – Año: Se registró el mes y año de ocurrencia de la observación.
- Nivel de Riesgo: Se registró el nivel de riesgo de cada observación en base a lo indicado en 4.3. Este atributo reemplazó al atributo de Clasificación del Peligro.
- Tipo – Evento, el cual fue utilizado al momento de proponer la metodología de prevención de accidentes y que describe.



#### 4.4.4. Informe Final de Investigación de Incidentes/Accidentes

Los informes finales de investigación de incidentes / accidentes fueron registrados en base a las observaciones, recopilación de registros y entrevistas realizadas después de ocurrido un accidente. Este registro (formato en Excel) de cada suceso contiene la siguiente información:

- Tipo de suceso: Puede ser accidente (mortal, incapacitante, leve o daño a la propiedad) o incidente.
- Datos de la empresa donde ocurrió el accidente / incidente: Se colocan datos como la razón social, RUC, número de trabajadores, dirección y actividades realizadas. En caso de que el accidente / incidente haya ocurrido en una empresa contratista se registra también los datos de la compañía.
- Área: Área de la compañía donde ocurrió el suceso.
- Lugar del accidente / incidente: Lugar específico donde ocurrió el suceso.
- Fecha del accidente / incidente: Fecha de ocurrencia del suceso.
- Fecha del informe: Fecha en la que se concluye la investigación.
- Hora: Hora de ocurrencia del suceso.
- Horas trabajadas en la jornada antes del accidente: Horas que estuvo trabajando el o los trabajadores involucrados en el suceso desde el inicio de su jornada laboral.
- Datos del o los Involucrados: Incluye lo siguiente:
  - Nombre completo.
  - Fecha de nacimiento.
  - Edad.
  - DNI.
  - Estado civil.
  - Grado de instrucción.
  - Años de experiencia.
  - Remuneración.
  - Cargo u Ocupación.
  - Tiempo en el cargo u ocupación.

- Parte del cuerpo lesionado.
- Días descanso médico.
- Número de trabajadores afectados.
- Tipo de contrato.
- Descripción de la lesión.
- Costo estimado del accidente / incidente.
- Costo potencial del accidente / incidente.
- Tipo de incapacidad.
- Según el tipo (Anexo del RSSO en minería).
- Según lesión anatómica (Anexo del RSSO en minería).
- Según origen: Acto subestándar, condición subestándar o ambos.
- Según previsión: Previsible o no previsible.
- Médico.
- Ingeniero de guardia o capataz: jefe inmediato.
- Evaluación de Potencial de la Pérdida: Se califican tres (03) criterios según lo indicado por Anexo N° 7 del RSSO en Minería y la calificación indicada en la gestión de SST del sujeto de estudio:
  - Gravedad – Símil al nivel de riesgo indicado en la Tabla 8, colocando los siguientes puntajes:
    - Gravedad Bajo – 1.
    - Gravedad media – 2.
    - Gravedad alta – 3.
  - Severidad de las Consecuencias – Tabla 9.

**Tabla 9. Puntaje de Severidad de Consecuencias**

NIVEL DE SEVERIDAD	CRITERIOS		PUNTAJE
	Lesión Personal	Daño a la Propiedad	
MENOR	Lesión que no incapacita a la persona. Lesiones leves.	Pérdida por monto menor a US\$ 1,000	1
TEMPORAL	Lesiones que incapacitan a la persona temporalmente. Lesiones por posición ergonómica.	Pérdida por monto mayor o igual a US\$ 1,000 y menor a US\$ 5,000	2
PERMANENTE	Lesiones que incapacitan a la persona para su actividad normal de por vida. Enfermedades ocupacionales avanzadas.	Pérdida por un monto entre US\$ 5,001 y US\$ 10,000	3
FATALIDAD	Una mortalidad. Estado vegetal.	Pérdidas por un monto entre US\$ 10,001 y US\$ 100,000	4
CATASTRÓFICO	Varias fatalidades. Varias personas con lesiones permanentes.	Pérdidas por un monto mayor a US\$ 100,000	4

- Probabilidad de la Repetición – Tabla 10.

**Tabla 10. Puntaje de Probabilidad de la Repetición.**

PROBABILIDAD	CRITERIOS		PUNTAJE
	Frecuencia	Exposición	
IMPOSIBLE	Sucede con demasiada frecuencia.	Muchas (6 o más) personas expuestas. Varias veces al día.	1
POCO PROBABLE	Sucede con frecuencia.	Moderado (3 a 5) personas expuestas varias veces al día.	2
POSIBLE	Sucede ocasionalmente.	Pocas (1 a 2) personas expuestas varias veces al día. Muchas personas expuestas ocasionalmente.	2
PROBABLE	Rara vez ocurre. No es muy probable que ocurra.	Moderado (3 a 5) personas expuestas ocasionalmente.	2
MUY PROBABLE	Muy rara vez ocurre. Imposible que ocurra.	Pocas (1 a 2) personas expuestas ocasionalmente.	3

- Descripción del accidente / incidente.
- Tipo de Evento: Según tabla 6.
- Causa Inmediata: Se registraba el acto o condición subestándar en base a tabla 6.

- Causa básica: Se registraba información de factores de trabajo o personales en base a la tabla 6.
- Áreas de control: Áreas donde se tendrán que implementar mejoras. Se coloca información en base a la tabla 6.
- Información adicional: Descripción de las evidencias recopiladas en la investigación.
- Plan de Acción Correctiva: Se detallaba qué acción, responsable, plazo, fecha ejecutada, verificación y porcentaje de efectividad.
- Nombres y cargos del equipo investigador.

Ante de pasar a la etapa de análisis, se realizó una limpieza de los datos debido a:

- Varias áreas no coincidían con las áreas que existen en el sujeto de estudio o había existido errores en la designación de áreas, por lo que se realizó la designación de las áreas correspondientes según la descripción, lugar del accidente / incidente, jefe inmediato y en base al conocimiento de la situación del sujeto de estudio por parte del investigador.
- Solo para el caso de incidentes donde no existía trabajadores involucrados, se colocó el área responsable de la condición subestándar como Área donde ocurrió el evento.
- Solamente se tenía la fecha del evento, por lo que mediante fórmula Excel se agregó un atributo adicional que es “Mes-Año” que indicaba el mes y el año en el que ocurrió el evento.
- No se consideraron informes de incidentes y accidentes que no fueron registrados en las estadísticas de SST oficiales del sujeto de estudio.
- No se consideraron accidentes ocurridos durante el transporte desde y hacia la unidad minera ya que no existen inspecciones, OTOs ni hallazgos frecuentes asociados a la actividad de transporte de personal fuera de la unidad.

En base a esta limpieza previa y con el fin de lograr el objetivo del presente estudio, cada suceso (codificado con numeración secuencial) se registró con los siguientes atributos:

- Empresa / Área - Evento: Se registraba la empresa contratista o el área de compañía donde ocurrió el accidente / incidente y/o a donde pertenecían los trabajadores involucrados. Este atributo reemplazaba al atributo "Área".
- Mes – Año: Se registraba el mes y año de ocurrencia del accidente / incidente.
- Tipo – Suceso: Se registraba si el suceso es accidente incapacitante, leve, daño a la propiedad o incidente.
- Potencial de Pérdida: Se registraba el resultado de la suma de valores de la evaluación potencial de la pérdida.

Además, se registró también la variable "Tipo – Evento", que indica las causas inmediatas del suceso, las cuales fueron utilizadas al momento de proponer la metodología de prevención de accidentes y que describe. Cabe indicar que, con la finalidad de no generar un dato con dos valores en un mismo atributo, esta variable se registró por separado.

#### **4.5. Análisis de Variables**

En base a los atributos recolectados, cada fuente de información secundaria tiene una unidad de análisis con sus respectivos atributos (variables):

- Reporte de acto y/o condición subestándar: Hallazgo.
- Reporte de observación de tarea operativa: OTO.
- Inspecciones formales: Observación.
- Informe Final de Investigación de Incidente / Accidente: Suceso
- Número de trabajadores.

Para poder aplicar las técnicas predictivas, es necesario tener una sola unidad de análisis por lo que se procedió a usar una unidad análisis común entre

todas las fuentes de información la cual fue Empresa o Área – Mes. Las variables se detallan en la Tabla 11.

**Tabla 11. Matriz de Variables.**

<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fuente</b>	<b>Tipo de Variable</b>
<b>Aplic_Bajo</b>	Cantidad de hallazgos de riesgo bajo reportados en el aplicativo ocurridos en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior, por cada 100 trabajadores.	Reporte de Acto y/o Condiciones Subestándar y Número de Trabajadores	Independiente
<b>Aplic_Medio</b>	Cantidad de hallazgos de riesgo medio reportados en el aplicativo ocurridos en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior, por cada 100 trabajadores.		
<b>Aplic_Alto</b>	0: No se reportó hallazgos de riesgo alto en el aplicativo en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior. 1: Se reportó hallazgos de riesgo alto en el aplicativo en la empresa contratista o área en el mes anterior.		
<b>Aplic_Rep_Bajo</b>	Cantidad de hallazgos de riesgo bajo reportados en el aplicativo ocurrido en el mes anterior que son responsabilidad de la empresa contratista o área de compañía, por cada 100 trabajadores.		
<b>Aplic_Rep_Medio</b>	Cantidad de hallazgos de riesgo medio reportados en el aplicativo ocurrido en el mes anterior que son responsabilidad de la empresa contratista o área de compañía, por cada 100 trabajadores.		
<b>Aplic_Rep_Alto</b>	0: No se reportó hallazgos de riesgo alto en el aplicativo en el mes anterior que son responsabilidad de la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior. 1: Se reportó hallazgos de riesgo alto en el aplicativo en el mes anterior que son responsabilidad de la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior.		
<b>Insp_Bajo</b>	Cantidad de observaciones de riesgo bajo producto de inspecciones formales ocurridas en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior.	Inspecciones Formales	Independiente
<b>Insp_Medio</b>	Cantidad de observaciones de riesgo medio producto de inspecciones formales ocurridas en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior		
<b>Insp_Alto</b>	0: No existieron observaciones de riesgo alto producto de inspecciones formales ocurridas en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior. 1: Sí existieron observaciones de riesgo alto producto de inspecciones formales ocurridas en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior.		

Nombre	Descripción	Fuente	Tipo de Variable
<b>Insp_Rep_Bajo</b>	Cantidad de observaciones de riesgo bajo producto de inspecciones formales en el mes anterior que son responsabilidad de la empresa contratista o área de compañía.	Inspecciones Formales	Independiente
<b>Insp_Rep_Medio</b>	Cantidad de observaciones de riesgo medio producto de inspecciones formales en el mes anterior que son responsabilidad de la empresa contratista o área de compañía.		
<b>Insp_Rep_Alto</b>	0: No existieron observaciones de riesgo alto producto de inspecciones formales en el mes anterior que son responsabilidad de la empresa contratista o área de compañía. 1: Sí existieron observaciones de riesgo alto producto de inspecciones formales en el mes anterior que son responsabilidad de la empresa contratista o área de compañía.		
<b>AI_Anterior</b>	0: No ocurrieron accidentes incapacitantes en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior. 1: Ocurrieron accidentes incapacitantes en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior.	Informes finales de investigación de incidentes y accidentes	Independiente
<b>DP_Anterior</b>	0: No ocurrieron daños a la propiedad en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior. 1: Ocurrieron daños a la propiedad en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior.		
<b>AL_Anterior</b>	0: No ocurrieron accidentes leves en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior. 1: Ocurrieron accidentes leves en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior.		
<b>IN_Anterior</b>	0: No ocurrieron incidentes en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior. 1: Ocurrieron incidentes en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior.		
<b>Severidad_Anterior</b>	Promedio de valores de severidad (ver Tabla 9) de los sucesos ocurridos en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior.		
<b>Frec_Anterior</b>	0: No ocurrieron sucesos en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior. 1: Ocurrieron sucesos en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior.		
<b>OTO_SI</b>	Cantidad de OTOs con resultado positivo en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior.		
<b>OTO_NO</b>	0: No existieron OTOs con resultado negativo en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior. 1: Existieron OTOs con resultado negativo en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior.		



Nombre	Descripción	Fuente	Tipo de Variable
<b>AI_Actual</b>	0: No existieron sucesos con una severidad temporal o mayor en la empresa contratista o área de compañía en el mes de análisis. 1: Existieron sucesos con una severidad temporal o mayor en la empresa contratista o área de compañía en el mes de análisis.	Informes finales de investigación de incidentes y accidentes y Número de Trabajadores	Respuesta
<b>Suceso_Actual</b>	0: No existieron sucesos en la empresa contratista o área de compañía en el mes de análisis. 1: Existieron sucesos en la empresa contratista o área de compañía en el mes de análisis.		

En cuanto a las variables independientes, cabe indicar lo siguiente:

- Existen variables categóricas y numéricas (discretas y continuas).
- Se registraron los resultados del mes de análisis y del mes anterior con la finalidad de predecir resultados de un mes actual en base a los datos anteriores, por ejemplo, predecir la ocurrencia de accidentes en el área de Mina en el mes de junio 2021 en base a los datos de hallazgos, OTOs, observaciones y sucesos ocurridos en mayo 2021.
- En primera instancia todas las variables eran numéricas, sin embargo, se decidió que algunas de ellas fueran categóricas dicotómicas debido a que presentaban un alto porcentaje de valor 0 como se puede ver en la tabla 12. Debido a esto se decidió convertirlas a variables binarias fruto de la recodificación de las variables originales (Aluja & Delicado, 2005); como se pudo ver en la tabla 11; categorizando las variables entre la existencia o no existencia de hallazgos, observaciones, sucesos y OTO negativos.

**Tabla 12.** *Matriz de Variables Convertidas a Categóricas.*

Variable	Original	Porcentaje de Valor 0
<b>Aplic_Alto</b>	Cantidad de hallazgos de riesgo alto reportados en el aplicativo ocurridos en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior,	60.2%
<b>Aplic_Rep_Alto</b>	Cantidad de hallazgos de riesgo alto reportados en el aplicativo ocurrido en el mes anterior que son responsabilidad de la empresa contratista o área de compañía, por cada 100 trabajadores.	60.4%
<b>Insp_Alto</b>	Cantidad de observaciones de riesgo alto producto de inspecciones formales ocurridas en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior	60.2%
<b>Insp_Rep_Alto</b>	Cantidad de observaciones de riesgo alto producto de inspecciones formales en el mes anterior que son responsabilidad de la empresa contratista o área de compañía.	70.8%

Variable	Original	Porcentaje de Valor 0
<b>AI_Anterior</b>	Cantidad de accidentes incapacitantes en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior.	97.8%
<b>DP_Anterior</b>	Cantidad de daños a la propiedad en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior.	93.8%
<b>AL_Anterior</b>	Cantidad de accidentes leves en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior.	95.7%
<b>IN_Anterior</b>	Cantidad de incidentes en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior.	82.2%
<b>OTO_NO</b>	Cantidad de OTOs con resultado negativo en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior.	73.8%

- La variable Sev\_Anterior también presenta un alto porcentaje de valor 0 (75.1%), sin embargo, se decidió dejarla como numérica y continua; ya que ya se cuenta con la variable categórica asociada, la cual es Frec\_Anterior.
- Similar a lo utilizado en los indicadores de frecuencia, severidad y accidentabilidad y con la finalidad de poder realizar una comparación más real entre las situaciones de cada empresa contratista o área de compañía, se calculó el número de hallazgos por cada 100 trabajadores, para lo cual se multiplicó la cantidad por 100 y se dividió por el número de trabajadores de cada empresa contratista o área de compañía.
  - Se decidió hacer esta multiplicación ya que el promedio de hallazgos mensuales por empresa contratista o área de compañía es muy variable (rango de 3 a 216 hallazgos), mientras que el promedio de hallazgos mensuales por trabajador es más uniforme (rango de 1 a 7 hallazgos); a excepción de una empresa contratista que tenía el promedio de 51 hallazgos por trabajador de manera mensual.

- Se eligió multiplicar por 100 debido a que el rango de valores en los que se encuentra el número de trabajadores de cada empresa contratista o área de compañía varía entre 7 y 561.
- No se aplicó ningún factor para los OTOs y observaciones producto de inspecciones formales ya que estas variables no dependen directamente del número de trabajadores. Esto es porque las empresas contratistas y áreas de compañía tienen un número similar de inspecciones y OTOs debido a las exigencias de la empresa que administra el sujeto de estudio.

En cuanto a la variable respuesta, se eligieron dos variables.

- La primera detalla la existencia de sucesos en el mes de análisis con una severidad por lo menos temporal, debido a que un accidente incapacitante tiene por lo menos este grado de severidad y que estos son los tipos de accidentes que son registrados en el cálculo de los objetivos de SST.
- La segunda detalla la existencia de cualquier suceso.

Se eligieron estas variables por los siguientes motivos:

- Lo que se busca es evitar accidentes de trabajo incapacitantes, ya que estos son los que generan un daño al trabajador, generando por lo menos un día de descanso médico.
- Otros sucesos pueden compartir las mismas causas que un accidente incapacitante, por lo que evitar su ocurrencia significa también eliminar y/o controlar causas que podrían originar accidentes incapacitantes en determinadas circunstancias.
- Comparar qué modelo tiene un mayor poder de predicción.

Por último, cabe indicar que antes del análisis final se realiza una limpieza adicional, no considerando aquellos meses donde las empresas contratistas o áreas de compañía no tuvieron hallazgos, OTOs u observaciones debido a la no creación de usuarios en el aplicativo, término de la relación contractual con la empresa que administra el sujeto de estudio o la no inclusión en el seguimiento periódico por el

servicio de seguridad y salud en el trabajo de la empresa contratista o área de compañía.

#### **4.6. Herramientas de Investigación**

Se eligió como técnica la regresión logística binaria multivariable debido a:

- Todas las variables independientes están estructuradas para ser analizadas de manera conjunta.
- Son varias variables independientes.
- Las variables independientes son cuantitativas (numéricas) y cualitativas (categóricas).
- Las variables respuesta son categóricas dicotómicas (valores posibles de 0 y 1).

##### **4.6.1. Regresión Logística**

Según López-Roldán & Fachelli (2015) la regresión logística tiene como fin pronosticar la pertenencia a un grupo a partir de una variable categórica obtenida a través de otras variables independientes cuantitativas y cualitativas, siendo una técnica en esencia predictiva, aunque también ayude a establecer relaciones de causalidad; lo cual ayuda a cumplir con el objetivo de la presente investigación.

El modelo de la regresión logística binaria considera dos sucesos de una variable “y” que se codifican con valores 0 y 1, donde P es la probabilidad que suceda uno y 1-P la probabilidad de que suceda el otro. Para el caso de esta investigación:

$$P = \Pr (y=1)$$

$$1-P = \Pr (y=0)$$

Al ser una modelo de regresión logística binaria multivariable, lo que se busca es pronosticar la probabilidad de la variable respuesta “y” con la información

de varias variables que permitan discriminar entre los dos posibles valores de la variable respuesta, por lo que también se indica esta técnica como discriminación logística (Aluja & Delicado, 2005).

Al tener la variable solo valores de 0 y 1, la regresión lineal no sería muy útil ya que está puede arrojar valores muy por encima o por debajo de 0 y 1; por lo que para la regresión logística se utiliza la siguiente función para describir la probabilidad de ocurrencia de un evento:

$$\Pr (y=1) = \frac{1}{1+e^{-(\beta_0 + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \dots + \beta_j * x_j)}} = P$$

$$\Pr (y=0) = 1 - \frac{1}{1+e^{-(\beta_0 + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \dots + \beta_j * x_j)}} = 1 - P$$

Donde:

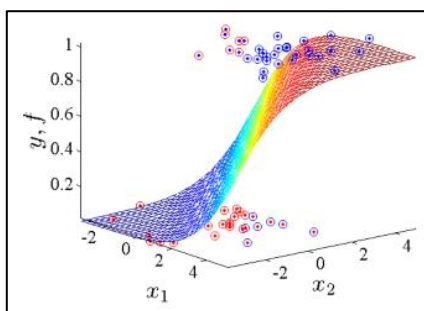
$x_i$ : Valor de la variable independiente i.

$\beta_0$ : Valor de la constante del modelo.

$\beta_i$ : Coeficiente de la variable independiente i.

Mediante el uso de esta fórmula, el valor de la probabilidad de la ocurrencia o no del fenómeno analizado en la regresión logística siempre estará dentro de 0 y 1 como se puede ver en la figura 26.

**Figura 26.** Curva de la función de probabilidad de regresión logística multivariable binomial.



Nota: Adaptado de “Metodología de la Investigación Social Cuantitativa. Capítulo III.10 Análisis de regresión logística” (López-Roldán & Fachelli, 2015).

Si bien los datos con los que se cuenta pueden ser analizados a través de la regresión logística, López-Roldán & Fachelli (2015) indica que se deben cumplir algunas condiciones para la aplicación:

- El modelo debe estar correctamente especificado y ser relevante sustantivamente.
- No se omiten variables independientes relevantes.
- Las variables independientes se miden sin error.
- Las observaciones son independientes entre sí, es decir no deben estar relacionados.
- Ausencia de colinealidad entre las variables independiente. Se recomienda correlaciones menor a 0.8.
- Linealidad de las variables cuantitativas.
- Cada variable independiente se relaciona de forma directa o indirecta.
- De Maris (1992) sugiere 15 casos por variable.
- El tanto por ciento de casos que corresponden al 0 o al 1 de la variable dependiente debe ser del 10% al menos.

Estas condiciones fueron validadas en el capítulo V. Aplicación y Obtención del Resultado.

Una vez validadas las condiciones, López-Roldán & Fachelli (2015) indican que se debe seguir el proceso de la regresión logística, el cual consiste en cuatro (04) etapas:

- Selección de variables de modelo: En base al marco teórico establecido y con pruebas realizadas a través de software específicos se determinan cuáles variables tiene un impacto en la predicción.
- Estimación de los coeficientes de las variables independientes: Estimación del peso de las variables del modelo a través del algoritmo iterativo de máxima verosimilitud calculando su bondad de ajuste. Una vez concluida

esta etapa se tiene el modelo matemático que pronostica la probabilidad de ocurrencia de determinado evento.

- Clasificación de los casos: Una vez establecido el modelo se obtiene una probabilidad determinada, la cual se compara con un valor de corte establecido y en base a esto se clasifica en la categoría que corresponde (0 o 1 en nuestro caso). Obteniendo dos resultados, el real y el pronosticado con el modelo.
- Análisis de los residuos: Se evalúan los residuos con la finalidad de detectar los casos más extremos, cuya decisión de omisión podría afectar significativamente el modelo.

Antes de explicar la metodología utilizada en esta investigación, se explican los principales conceptos asociados a la regresión logística y que son usados para determinar la bondad de ajuste del modelo y la selección de variables. Ferre Jaén (2019), en base a lo indicado por A. Field et al. (2012), indica los siguientes conceptos:

**4.6.2.1. Criterio de máxima verosimilitud.** Criterio usado para describir el ajuste del modelo usando como medida el log-likelihood (logaritmo de la razón de verosimilitud) el cual se describe mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Log-likelihood} = \sum_{i=1}^N [Y_i * \log P(Y_i) + (1 - Y_i) * \log(1 - P(Y_i))]$$

Donde:

**N:** Número de observaciones.

$Y_i$  : Valor de la variable respuesta para la observación  $i$ .

$P(Y_i)$  : Probabilidad de ocurrencia de evento para la observación  $i$ . Es el valor pronosticado por el modelo predictivo.



Valores elevados del log-likelihood indican un pobre ajuste del modelo, ya que indica que existen una gran variabilidad del modelo que no se puede explicar.

**4.6.2.2. Devianza.** La devianza se define como el doble negativo del logaritmo del estadístico de verosimilitud, representado como  $-2LL = -2 * \log\text{-likelihood}$ . Además, es importante señalar que la devianza tiene una distribución  $X^2$  (chi-cuadrada), cuyo estadístico, denominado ratio-likelihood es calculado mediante la diferencia de la devianza del modelo sin variables independientes (solo con la constante) y el modelo con las variables independientes teniendo según la siguiente fórmula:

$$X^2 = 2LL (\text{nuevo}) - 2LL (\text{referencial})$$

$$\text{Grados de libertad} = k$$

Donde:

$2LL$  (referencial) =  $2 * \log\text{-likelihood}$  del modelo sin variables independientes.

$2LL$  (referencial) =  $2 * \log\text{-likelihood}$  del modelo con variables independientes.

$K$  = número de variables independientes del modelo.

Según Ferre Jaén (2019), si la significación de  $X^2$  es menor que 0,05; el modelo se ajusta significativamente a los datos.

**4.6.2.3. Estadístico de Wald:** Estadístico que sigue una distribución  $X^2$  y que indica si los coeficientes de las variables independientes del modelo son significativamente diferentes de cero, con lo que asumimos que la variable está realizando un aporte significativo al modelo predictivo. Según Camarero Roja et al. (2013) el estadístico se calcula mediante el cociente entre el coeficiente y su error estándar:

$$\text{Wald} = \frac{(B - B_0)^2}{(ET)^2} \quad \text{Grados de Libertad} = 1$$

Donde:

B: Coeficiente de la variable independiente.

B<sub>0</sub>: Valor de contraste, en este caso es 0

ET: Error típico

Para el caso de la significancia del estadístico de Wald se usa el mismo valor de 0.05 según Ferré Jaén (2019).

**4.6.2.4. Odds y Odds-Ratio.** El Odds de un suceso se define como el cociente entre la probabilidad de ocurrencia entre la probabilidad de no ocurrencia.

$$\text{Odds (evento)} = \frac{P(\text{evento})}{1 - P(\text{evento})}$$

Para el caso de la regresión logística, la medida más crucial es el Odds-ratio, el cual es la exponencial del valor B,  $\text{Exp}(B)$ ; y se define como el cambio en la Odds(evento) al cambiar en una unidad el valor de la variable independiente.

$$\text{Odds-ratio } (X_j) = \frac{\text{odds tras cambio en una unidad de } X_j}{\text{odds originales}}$$

Donde:

$X_j$  = Variable independiente.<sup>5</sup>

Odds originales = Odds calculado sin el cambio en una unidad de  $X_j$ .

Valores de odds-ratio mayores a 1 indica que la variable independiente aumenta el odds de la variable respuesta, mientras que valores de Odds-ratio menores a 1 indican que la variable independiente disminuye el Odds de la variable respuesta.

---

<sup>5</sup> Para el cálculo de la odds, el resto de variables independientes tiene que permanecer sin cambio.

**4.6.2.5. Pseudo-R<sup>2</sup>.** En regresión lineal tenemos estadísticos que nos permiten determinar el ajuste del modelo, principalmente el coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>). Camarero Roja et al. (2013) indica que en regresión logística se tienen algunas similares (pseudo R<sup>2</sup>), siendo las generadas por el software, la R<sup>2</sup> de Cox y Snell y la R<sup>2</sup> de Nagelkerke; las cuales son definidas mediante las siguientes fórmulas:

$$R^2 \text{ de Cox} = 1 - e^{\frac{-2LL(\text{variables}) - 2LL(\text{referencia})}{n}}$$

$$R^2 \text{ de Nagelkerke} = \frac{1 - e^{\frac{-2LL(\text{variables}) - 2LL(\text{referencia})}{n}}}{1 - e^{2LL(\text{referencia})}}$$

Donde:

2LL (variables) = 2\* log-likelihood de modelo con todas las variables más constante.

2LL (referencia) = 2 \* log-likelihood de modelo sin ninguna variable, solo con la constante.

n = número de observaciones

Para fines de la presente investigación, se tomó como referencia la R<sup>2</sup> de Nagelkerke ya que sus valores están dentro de un rango fijo de 0 a 1. Camarero Roja et al. (2013) indica que, si bien teóricamente la R<sup>2</sup> de Nagelkerke puede llegar a ser 1, es difícil que supere el 0.3 (30%); por lo que se tomó este valor como referencia para determinar si el modelo cuenta con un buen ajuste.

Por último, es importante describir cómo se explica la capacidad predictiva del modelo:

**4.6.2.6. Capacidad Predictiva del Modelo.** Camarero et al. (2013) indica que para determinar la capacidad predictiva de un modelo logístico se usa la tabla de clasificación, la cual es un tabal de doble entrada que

compara los valores observados de la variable respuesta (reales) con los valores predichos por el modelo (pronosticado); como se explica en la Figura 27.

**Figura 27.** *Tabla de clasificación.*

Observado	Pronosticado		Porcentajes
	NO	SÍ	
NO	A	B	Especificidad
SÍ	C	D	Sensibilidad
TOTAL	-	-	Porcentaje correcto

Valor de corte =  $X \mid N$  observaciones

Donde:

A: Verdaderos negativos. Casos donde el evento no fue observado ni tampoco pronosticado por el modelo.

B: Falsos positivos. Casos donde el evento no fue observado, pero sí fue pronosticado por el modelo.

C: Falsos negativos. Casos donde el evento fue observado, pero no pronosticado por el modelo.

D: Verdaderos positivos. Casos donde el evento fue observado y pronosticado por el modelo.

N: Número total de observaciones. Es también la suma de  $A + B + C + D$ .

$$\text{Porcentaje Correcto} = \frac{(A+D)}{N} * 100\%.$$

Porcentaje de casos que el modelo predice perfectamente, es decir, donde coinciden el valor pronosticado por el modelo y el observado.

$$\text{Especificidad} = \frac{A}{(A+B)} * 100\%.$$

Capacidad del modelo para discriminar correctamente los casos donde no ocurre el evento observado.

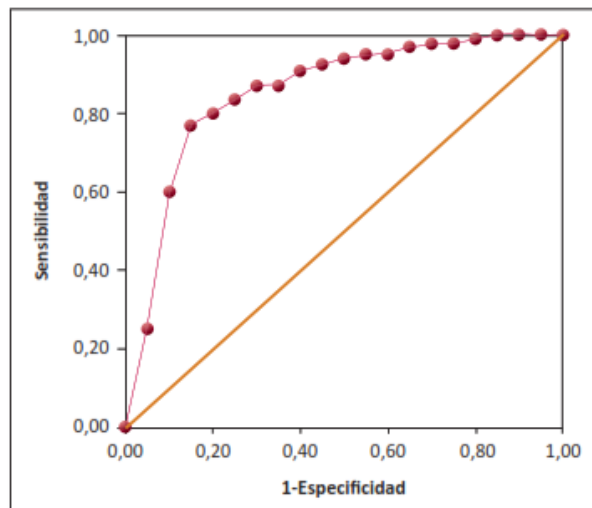
$$\text{Sensibilidad} = \frac{D}{(C+D)} * 100\%.$$

Capacidad del modelo para detectar correctamente los casos donde sí ocurre el evento observado.

Un modelo con una buena capacidad predictiva debe tener valores altos tanto de especificidad y sensibilidad (Camarero Roja, Almazán Llorente, & Mañas Ramírez, 2013).

Además, al ser la regresión logística un modelo de clasificación, Fawcett (2006) indica que la curva COR (Características Operativas del Receptor) sirve para evaluar el desempeño del modelo, es decir su capacidad de diferenciar entre la ocurrencia o no de un evento. Según Cerda & Cifuentes (2012) la curva COR representa la relación entre la tasa de verdaderos positivos, sensibilidad, y la tasa de falsos positivos, 1- especificidad, por cada posible punto de corte del modelo como se puede ver en la figura 28 (curva roja).

**Figura 28.** Curva COR y Línea No Discriminante.



Nota: Adaptado de “Uso de curvas ROC en investigación clínica. Aspectos teórico-prácticos” (Cerda & Cifuentes, 2012).

En la figura 28, la línea naranja es la línea de no discriminación, la cual describiría una curva COR de un modelo con ninguna capacidad de discriminar entre la ocurrencia de un evento o no. Según Cerda & Cifuentes (2012), un modelo tendrá una mejor capacidad discriminativa si se aleja más de la línea de no discriminación y más cerca del (0,1).

Según Cerda & Cifuentes (2012), el parámetro para evaluar el desempeño es el área bajo la curva COR (AUC en adelante). La AUC varía entre 0 y 1, aunque un valor de 0.5 significa que el modelo tiene nula capacidad de discriminación (línea no discriminante) y mientras sea más cercano a 1, tendrá una mejor capacidad discriminativa.

#### 4.6.2. Metodología Aplicada.

En base a lo indicado Muñoz (2018), Ferre Jaén (2019) y Camarero et al. (2013) se aplicó la siguiente metodología por cada etapa del proceso de la regresión logística, como se indica en la Tabla 13.

**Tabla 13.** Metodología de la Investigación – Paso a Paso

Etapa	Paso
<b>Selección de variables</b>	1. Identificar las variables independientes provenientes del marco teórico.
	2. Ajustar un modelo logístico con cada una de las variables independientes y quedarse con aquellas variables que han sido significativas. Se considera como nivel de significación el 0.05.
	3. Ajustar el modelo logístico conjunto de todas las variables que han sido significativas en el paso anterior.
	4. A partir del modelo completo, y como algunas variables pueden perder importancia al estar presentes con otras y no ser significativas, se van eliminando una a una las variables y se analiza el cambio en la devianza.
	5. Se eliminaron paso a paso aquellas variables del conjunto inicial en ese paso donde este cambio es pequeño y por lo tanto no significativo. Nos quedaremos al final con todas aquellas variables que si se eliminaban del modelo se produce un aumento importante en la devianza.
	6. Las variables que se quedaron en el paso 2 fuera del modelo, ahora podrían tener importancia en presencia de las variables elegidas en el paso 5. Por lo tanto, se van añadiendo una a una y se analiza si el cambio en la devianza es

Etapa	Paso
	<p>importante. Se van incorporando al modelo aquellas donde el descenso de la verosimilitud (2LL) es importante.</p> <p>7. Se revisa el modelo para asegurarse de que ningún término del modelo puede ser omitido sin un aumento importante en la devianza y que ningún término nuevo sea añadido sin un descenso importante de la devianza.</p>
<b>Estimación de los coeficientes de las variables independientes</b>	8. Mediante el algoritmo iterativo de máxima verosimilitud se calculan los coeficientes de cada variable, su error estándar y su estadístico de Wald.
	9. Se establece un valor de corte para el modelo logístico.
<b>Clasificación de los casos</b>	10. Se calcula el valor pronosticado de cada observación.
	11. Se calcula los residuos mediante la distancia entre el valor pronosticado y el valor de la observación; calculando la media y la desviación estándar de los residuos.
<b>Análisis de los residuos</b>	12. Se analizan aquellos residuos mayores al valor a la media sumada 2 desviaciones estándar.

Además, es importante señalar las siguientes consideraciones:

- Para la ejecución de las pruebas indicadas y cálculos de los estadísticos mencionados se utilizó el software IBM SPSS.
- No se han considerado las interacciones entre variables independientes para no obtener un modelo de difícil interpretación.
- Para cada variable respuesta se trabajó en la modelización de dos escenarios, uno donde se consideró las variables AI\_Anterior, DP\_Anterior, AL\_Anterior e IN\_Anterior y otro donde solo se consideró la variable Frec\_Anterior. Esto debido a que la variable Frec\_Anterior se relaciona fuertemente con las otras variables por lo que al analizarlas en conjunto no se cumpliría la condición de Ausencia de colinealidad entre las variables independiente.
- El valor de corte establecido para los modelos de cada variable respuesta es la frecuencia relativa del evento que evalúa las variables, quedando de la siguiente forma:
  - AI\_Actual: 17.4%
  - Suceso\_Actual: 24.1%

- Por último, se utilizó un conjunto de datos de entrenamiento y otro conjunto de datos de prueba; en el cual se validó el modelo obtenido con los datos de entrenamiento; con el cual se cumple la parte del proceso predictivo, el modelado predictivo. Estos conjuntos fueron determinados de manera aleatoria mediante el software SPSS, siendo 66% de las observaciones del conjunto de entrenamiento y el 33% del conjunto de prueba.

Cabe indicar que el presente estudio tiene como limitación el no poder completar el proceso del análisis predictivo con la última etapa, la etapa de “Predicción y Monitoreo”, aunque se planteará una metodología para la prevención de accidentes en base al modelado predictivo encontrado el principio de Pareto y siguiendo los pasos indicados en el programa de SBC mencionado en 2.10.3.



## **5. CAPÍTULO V: APLICACIÓN Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS**

### **5.1. Muestra Recolectada**

#### **5.1.1. Características Generales**

Sobre la muestra recolectada cabe indicar lo siguiente:

- Los meses de análisis van desde julio 2017 y junio 2019, cubriendo un período de 24 meses.
- Se consideraron 14 empresas contratistas, las cuales tenían acceso al aplicativo, OTOs y realizaban inspecciones formales en algunos meses dentro del período evaluado.
- Se consideraron 10 áreas de compañía que tenían acceso al aplicativo, OTOs y realizaban inspecciones formales en algunos meses dentro del período evaluado.
- Se recolectaron 465 unidades de análisis en base a la recolección y la limpieza comentada previamente.

#### **5.1.2. Características de las Variables**

El promedio y desviación estándar de las variables independientes cuantitativas se detallan en la tabla 14 y 15 por cada empresa/área, mientras que un resumen general de las mismas se muestra en la tabla 16.

**Tabla 14.** Media de cada Variable Independiente Cuantitativa por cada empresa contratista o área de compañía considerando solo el mes anterior del mes de análisis.

DESCRIPCIÓN	Aplic_Bajo	Aplic_Medio	Aplic_Rep_Bajo	Aplic_Rep_Medio	Insp_Bajo	Insp_Medio	Insp_Rep_Bajo	Insp_Rep_Medio	Sev_Ant	OTO_SI
ÁREA 1	21.46	11.05	30.41	14.25	8.70	0.87	8.70	1.13	0.26	15.91
ÁREA 2	14.07	5.74	34.35	56.87	6.43	1.17	15.57	6.74	0.22	1.13
ÁREA 3	13.20	11.19	13.20	11.19	8.65	0.70	8.30	0.57	0.00	7.91
ÁREA 4	11.88	2.54	15.91	4.84	24.30	6.13	24.00	5.96	0.00	0.48
ÁREA 5	13.69	7.57	18.43	16.10	14.48	11.13	17.91	15.17	0.70	5.83
ÁREA 6	11.86	13.11	7.28	8.25	24.74	35.74	16.13	23.43	1.42	17.83
ÁREA 7	12.61	5.73	14.95	4.03	6.17	1.74	5.83	1.91	0.13	2.65
ÁREA 8	16.15	9.84	14.19	8.25	23.83	4.39	21.00	3.91	0.20	10.96
ÁREA 9	20.35	9.89	20.87	9.63	24.04	2.35	23.30	2.70	0.72	7.78
ÁREA 10	24.57	13.85	26.08	11.87	14.57	1.52	14.05	2.19	0.00	0.14
EMPRESA 1	62.28	31.83	62.40	31.83	8.65	6.70	8.48	6.57	0.00	4.04
EMPRESA 2	15.23	8.69	11.70	2.69	11.48	5.74	10.57	4.35	1.17	6.48
EMPRESA 3	53.28	14.71	53.72	8.68	10.00	7.57	10.00	7.74	0.30	2.74
EMPRESA 4	49.12	36.12	49.12	36.12	2.25	3.75	2.25	3.75	0.50	4.00
EMPRESA 5	26.00	36.37	25.95	35.94	7.39	5.13	7.30	5.04	0.00	2.83
EMPRESA 6	12.31	7.32	11.48	5.78	6.29	4.57	6.14	4.57	0.00	4.57
EMPRESA 7	40.03	19.18	38.35	18.32	4.47	3.47	4.47	3.60	0.00	3.67
EMPRESA 8	10.87	10.18	10.93	9.93	13.20	10.40	12.93	9.80	0.57	5.33
EMPRESA 9	1.31	0.83	1.17	0.71	10.00	3.33	9.67	3.33	2.50	3.67
EMPRESA 10	8.52	3.73	8.38	3.52	11.09	4.78	10.09	4.13	0.39	2.74
EMPRESA 11	10.85	11.98	9.75	10.32	15.65	8.30	15.22	8.61	1.41	2.70
EMPRESA 12	15.98	6.52	15.98	6.52	5.44	1.67	5.44	1.78	0.00	1.33
EMPRESA 13	32.04	37.35	31.75	37.29	9.96	6.83	9.91	6.65	0.33	4.87
EMPRESA 14	18.66	34.21	18.39	34.68	24.43	27.35	24.17	26.87	2.29	6.13
<b>TOTAL</b>	<b>21.59</b>	<b>14.76</b>	<b>23.05</b>	<b>16.73</b>	<b>13.38</b>	<b>7.43</b>	<b>13.17</b>	<b>7.19</b>	<b>0.51</b>	<b>5.54</b>

**Tabla 15.** Desviación estándar de cada Variable Independiente Cuantitativa por cada empresa contratista o área de compañía considerando solo el mes anterior del mes de análisis.

DESCRIPCIÓN	Aplic_Bajo	Aplic_Medio	Aplic_Rep_Bajo	Aplic_Rep_Medio	Insp_Bajo	Insp_Medio	Insp_Rep_Bajo	Insp_Rep_Medio	Sev_Ant	OTO_SI
ÁREA 1	12.78	8.09	19.58	10.64	5.30	1.55	5.14	1.66	0.86	4.40
ÁREA 2	10.12	5.52	26.73	29.72	5.01	3.01	6.24	4.30	0.52	1.06
ÁREA 3	6.80	7.56	6.80	7.56	4.10	1.06	4.48	0.95	0.00	3.84
ÁREA 4	16.57	4.21	16.43	4.46	11.28	5.86	10.99	5.81	0.00	0.67
ÁREA 5	8.79	6.51	13.93	9.93	9.70	5.94	10.26	6.77	1.11	3.69
ÁREA 6	9.88	9.32	5.61	6.16	14.02	9.43	8.69	7.41	1.24	6.41
ÁREA 7	8.17	8.26	10.74	3.61	5.04	2.47	3.70	2.50	0.46	2.14
ÁREA 8	7.22	6.36	6.05	6.06	11.63	3.33	10.11	3.34	0.69	3.35
ÁREA 9	15.94	8.05	15.72	8.26	10.02	3.65	9.87	3.71	1.14	2.02
ÁREA 10	15.64	8.12	15.55	9.39	13.46	3.36	11.98	3.27	0.00	0.36
EMPRESA 1	33.86	26.45	33.76	26.45	5.28	4.66	5.27	4.74	0.00	1.58
EMPRESA 2	11.99	3.92	8.19	2.16	4.04	3.17	4.32	2.98	1.03	1.68
EMPRESA 3	47.13	12.97	50.49	11.04	4.50	3.85	4.13	3.84	0.70	2.05
EMPRESA 4	50.61	39.16	50.61	39.16	3.20	1.26	3.20	1.26	1.00	4.62
EMPRESA 5	15.72	21.97	15.56	21.89	3.90	3.95	3.87	3.98	0.00	2.33
EMPRESA 6	5.89	5.34	6.51	5.66	1.98	0.53	1.86	0.53	0.00	2.82
EMPRESA 7	26.32	22.99	25.57	22.50	2.17	2.10	2.17	2.13	0.00	2.47
EMPRESA 8	4.01	8.12	3.90	8.33	12.73	5.91	13.04	5.97	0.90	4.69
EMPRESA 9	0.59	0.78	0.57	0.71	4.58	0.58	4.51	0.58	0.17	2.52
EMPRESA 10	9.12	4.16	9.12	4.09	8.23	3.97	7.40	3.52	0.84	3.09
EMPRESA 11	9.70	7.93	9.84	7.78	10.08	6.34	10.07	6.29	1.48	2.22
EMPRESA 12	24.10	12.66	24.10	12.66	3.17	1.66	3.17	1.92	0.00	1.58
EMPRESA 13	33.00	14.86	32.82	14.85	5.12	3.27	5.13	3.35	0.79	3.92
EMPRESA 14	7.92	15.44	8.05	15.80	8.87	9.10	8.94	8.11	0.85	4.44
<b>TOTAL</b>	<b>23.65</b>	<b>16.34</b>	<b>24.96</b>	<b>19.82</b>	<b>10.61</b>	<b>9.76</b>	<b>9.66</b>	<b>8.13</b>	<b>0.99</b>	<b>5.52</b>

**Tabla 16.** Resumen de media y desviación estándar de cada variable independiente cuantitativa.

<b>Variable</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>
<b>Aplic_Bajo</b>	21.59	23.65
<b>Aplic_Medio</b>	14.76	16.34
<b>Aplic_Rep_Bajo</b>	23.05	24.96
<b>Aplic_Rep_Medio</b>	16.73	19.82
<b>Insp_Bajo</b>	13.38	10.61
<b>Insp_Medio</b>	7.43	9.76
<b>Insp_Rep_Bajo</b>	13.17	9.66
<b>Insp_Rep_Medio</b>	7.19	8.13
<b>Severidad_Anterior</b>	0.51	0.99
<b>OTO_SI</b>	5.54	5.52

El porcentaje de presencia de evento en las variables independientes cualitativas (valor 1) por empresa/área se detalla en la tabla 17.

**Tabla 17.** Porcentaje de presencia de evento (valor 1) en las variables independientes cualitativas.

DESCRIPCIÓN	Aplic_ Alto	Aplic_ Rep_ Alto	Insp_ Alto	Insp_ Rep_ Alto	AL_Ant	DP_Ant	IN_Ant	AI_Ant	Frec_Ant
ÁREA 1	43.5%	47.8%	0.0%	0.0%	0.0%	4.3%	8.7%	0.0%	13.0%
ÁREA 2	4.3%	56.5%	4.3%	39.1%	0.0%	4.3%	13.0%	0.0%	17.4%
ÁREA 3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
ÁREA 4	4.3%	8.7%	26.1%	26.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
ÁREA 5	39.1%	52.2%	34.8%	56.5%	4.3%	0.0%	30.4%	0.0%	34.8%
ÁREA 6	95.7%	87.0%	95.7%	82.6%	13.0%	26.1%	56.5%	8.7%	73.9%
ÁREA 7	21.7%	21.7%	13.0%	8.7%	0.0%	8.7%	0.0%	0.0%	8.7%
ÁREA 8	47.8%	39.1%	21.7%	8.7%	0.0%	0.0%	4.3%	4.3%	8.7%
ÁREA 9	17.4%	13.0%	17.4%	21.7%	8.7%	0.0%	30.4%	0.0%	34.8%
ÁREA 10	47.6%	38.1%	9.5%	9.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
EMPRESA 1	65.2%	65.2%	17.4%	17.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
EMPRESA 2	47.8%	17.4%	26.1%	17.4%	4.3%	26.1%	39.1%	4.3%	65.2%
EMPRESA 3	17.4%	8.7%	8.7%	8.7%	4.3%	0.0%	8.7%	4.3%	17.4%
EMPRESA 4	25.0%	25.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	25.0%	0.0%	25.0%
EMPRESA 5	39.1%	39.1%	47.8%	47.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
EMPRESA 6	57.1%	57.1%	71.4%	71.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
EMPRESA 7	33.3%	26.7%	13.3%	13.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
EMPRESA 8	26.7%	26.7%	40.0%	40.0%	6.7%	13.3%	13.3%	6.7%	33.3%
EMPRESA 9	33.3%	33.3%	66.7%	66.7%	66.7%	33.3%	66.7%	33.3%	100.0%
EMPRESA 10	21.7%	17.4%	30.4%	30.4%	8.7%	4.3%	8.7%	0.0%	21.7%
EMPRESA 11	56.5%	56.5%	47.8%	47.8%	17.4%	13.0%	43.5%	0.0%	56.5%
EMPRESA 12	11.1%	11.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
EMPRESA 13	73.9%	73.9%	17.4%	17.4%	4.3%	0.0%	17.4%	0.0%	17.4%
EMPRESA 14	95.7%	95.7%	82.6%	87.0%	8.7%	26.1%	78.3%	13.0%	95.7%
<b>TOTAL</b>	<b>39.8%</b>	<b>39.6%</b>	<b>28.0%</b>	<b>29.2%</b>	<b>4.3%</b>	<b>6.2%</b>	<b>17.8%</b>	<b>2.2%</b>	<b>24.9%</b>

El porcentaje de presencia de evento en las variables respuestas (valor 1) por empresa/área se detalla en la tabla 18.

**Tabla 18.** Porcentaje de presencia de evento (valor 1) en las variables respuesta.

DESCRIPCIÓN	Suceso_Actual	AI_Actual
ÁREA 1	13.0%	4.3%
ÁREA 2	17.4%	4.3%
ÁREA 3	0.0%	0.0%
ÁREA 4	0.0%	0.0%
ÁREA 5	34.8%	26.1%
ÁREA 6	73.9%	43.5%
ÁREA 7	8.7%	4.3%
ÁREA 8	8.7%	8.7%
ÁREA 9	34.8%	26.1%
ÁREA 10	0.0%	0.0%
EMPRESA 1	0.0%	0.0%
EMPRESA 2	65.2%	43.5%
EMPRESA 3	17.4%	13.0%
EMPRESA 4	0.0%	0.0%
EMPRESA 5	0.0%	0.0%
EMPRESA 6	0.0%	0.0%
EMPRESA 7	0.0%	0.0%
EMPRESA 8	33.3%	20.0%
EMPRESA 9	66.7%	66.7%
EMPRESA 10	21.7%	13.0%
EMPRESA 11	52.2%	43.5%
EMPRESA 12	0.0%	0.0%
EMPRESA 13	17.4%	13.0%
EMPRESA 14	91.3%	87.0%
<b>TOTAL</b>	<b>24.1%</b>	<b>17.4%</b>

## 5.2. Validación de Condiciones de Regresión Logística

Antes de proceder al modelo predictivo, se validaron las condiciones para la regresión logística explicadas en 4.6.1.

- Modelo debe estar correctamente especificado y ser relevante sustantivamente: Se detallaron las variables independientes y se trabajó solamente con un modelo que presente valores de sensibilidad y especificidad mayores a 60%.
- Las variables independientes se miden sin error: Todas las variables fueron extraídas tal cual se registraron en las distintas fuentes de información. No se estableció alguna interpretación previa que modificara el valor de cada variable.
- No se omiten variables independientes relevantes: El paso 7 (ver tabla 13) indica una revisión final del modelo para evitar no considerar alguna variable independiente relevante.
- Observaciones independientes entre sí: Cada observación recogió información de un mes en particular. En ninguno de los casos se toman datos de un mismo mes para diferentes observaciones.
- Ausencia de Colinealidad: Al momento de tener el modelo, se calculó el coeficiente de Pearson con la finalidad de validar que todas las variables independientes son independientes.
- Linealidad de las variables cuantitativas: Mediante el valor de significancia (menor a 0.05) de cada variable cuantitativa que quedó en el modelo predictivo final.
- Relación de forma directa o Indirecta: Cada variable tiene una relación (significancia) con la variable respuesta, pudiendo afectar de manera directa o indirecta. Al igual que el punto anterior, se validó mediante el valor de significancia menor a 0.05.
- 15 casos por variables: El número total de casos fue de 465, dividido por 15, da un valor de 31; siendo mayor al número de 20 variables independientes.

- Tanto por cierto de casos de 0 o 1 debe ser al menos del 10%: Para el caso de las dos variables respuestas se obtuvieron valores de 17.4 % y de 24.1 % como frecuencia relativa de ocurrencia del evento en cuestión.

### 5.3. Modelado Predictivo para Sucesos

En base a la metodología explicada en 4.6.2 se obtuvieron los siguientes resultados, uno para el caso donde se consideraron las variables AL\_Anterior, DP\_Anterior, IN\_Anterior y AI\_Anterior (escenario 1); y otra donde se consideró solo la variable Frec\_Anterior (escenario 2) en lugar de las 4 mencionadas previamente.

Para el primer escenario se obtuvo como variables que mejor explicaban la probabilidad, las variables de DP\_Anterior, Insp\_Rep\_Alto, Aplic\_Bajo y Aplic\_Alto, siendo sus resultados los indicados en la tabla 19, 20 y 21, las cuales explican los principales estadísticos asociados al modelo, la capacidad predictiva y las correlaciones entre variables. Además, se obtuvo un valor de  $R^2$  de Nagelkerke de 0.262. Cabe indicar que los resultados mostrados serán para los datos de entrenamiento.

**Tabla 19.** Estadísticos del modelado predictivo para Sucesos – Escenario 1

Variables	B	Error estándar	Wald	Sig	Exp(B)
DP_Anterior	1.247	0.588	4.496	0.034	3.479
Insp_Rep_Alto	1.294	0.302	18.345	< 0.001	3.647
Aplic_Bajo	-0.023	0.010	5.842	0.016	0.977
Aplic_Alto	1.078	0.305	12.490	< 0.001	2.939
Constante	-1.690	0.278	36.987	-	0.184



**Tabla 20.** Tabla de Clasificación de modelado predictivo para Sucesos – Escenario 2.<sup>6</sup>

Observado	Pronosticado		Porcentaje correcto
	NO (0)	SÍ (1)	
NO (0)	163	63	72.1%
SÍ (1)	20	58	74.4%
		<b>TOTAL</b>	<b>72.7%</b>

**Tabla 21.** Matriz de Correlaciones – Escenario 1 - Variables Independientes de modelado predictivo para Sucesos.

Variables	DP_Anterior	Insp_Rep_Alto	Aplic_Bajo	Aplic_Alto
DP_Anterior	1.000	0.057	0.052	-0.177
Insp_Rep_Alto	0.057	1.000	0.072	-0.145
Aplic_Bajo	0.052	0.072	1.000	-0.158
Aplic_Alto	-0.177	-0.145	-0.158	1.000

Antes de tomar una decisión y realizar el análisis de los residuos, se analizaron los resultados para el escenario 2. Para este escenario, las variables que mejor explicaban la probabilidad eran Frec\_Anterior, Insp\_Rep\_Alto, Aplic\_Bajo y Aplic\_Alto, siendo sus resultados los indicados en la tabla 22, 23 y 24, las cuales explican los principales estadísticos asociados al modelo, la capacidad predictiva y las correlaciones entre variables. Además, se obtuvo un valor de  $R^2$  de Nagelkerke de 0.293. Cabe indicar que los resultados mostrados se hallaron con los datos de entrenamiento.

<sup>6</sup> El valor de corte es de 24.1% para todas las tablas de clasificación asociado a Sucesos.

**Tabla 22.** Estadísticos del modelado predictivo para Sucesos – Escenario 2.

<b>Variables</b>	<b>B</b>	<b>Error estándar</b>	<b>Wald</b>	<b>Sig</b>	<b>Exp(B)</b>
Frec_Anterior	1.157	0.323	12.822	0.000	3.180
Insp_Rep_Alto	1.122	0.310	13.069	0.000	3.072
Aplic_Bajo	-0.018	0.010	3.439	0.064	0.982
Aplic_Alto	0.950	0.312	9.276	0.002	2.587
Constante	-1.950	0.299	42.571	-	0.142

**Tabla 23.** Tabla de Clasificación de modelado predictivo para Sucesos – Escenario 2.

<b>Observado</b>	<b>Pronosticado</b>		<b>Porcentaje correcto</b>
	<b>NO (0)</b>	<b>Sí (1)</b>	
NO (0)	167	59	73.9%
Sí (1)	22	56	71.8%
	<b>TOTAL</b>		<b>73.4%</b>

**Tabla 24.** Matriz de Correlaciones – Escenario 2- Variables Independientes de modelado predictivo para Sucesos.

<b>Variables</b>	<b>Frec_Anterior</b>	<b>Insp_Rep_Alto</b>	<b>Aplic_Bajo</b>	<b>Aplic_Alto</b>
Frec_Anterior	1.000	0.274	-0.170	0.232
Insp_Rep_Alto	0.274	1.000	-0.120	0.221
Aplic_Bajo	-0.170	-0.120	1.000	0.091
Aplic_Alto	0.232	0.221	0.091	1.000

Como se puede ver el Escenario 2 tiene una mejor bondad (una  $R^2$  de Nagelkerke mayor) por lo que sería el modelo elegido, sin embargo, el Escenario 1 obtuvo mayores Odds-ratio por cada variable y un porcentaje ligeramente mayor de porcentaje correcto y especificidad; además que el Escenario 2 tiene una variable que no es significativa; aunque se mantiene en el modelo debido al impacto que tiene en la gestión de SST (se realiza un seguimiento diarios de tales hallazgos) y que es significativa en el Escenario 1. Debido a esto, antes de tomar una decisión se revisó la capacidad predictiva de cada modelo en los datos de prueba, cuyos resultados se exponen en la tabla 25 y 26.

**Tabla 25.** *Tabla de Clasificación de modelado predictivo para Sucesos – Escenario 1 – Datos de prueba.*

Observado	Pronosticado		Porcentaje correcto
	NO (0)	SÍ (1)	
NO (0)	79	48	62.2%
SÍ (1)	10	24	70.6%
	<b>TOTAL</b>		<b>64.0%</b>

**Tabla 26.** *Tabla de Clasificación de modelado predictivo para Sucesos – Escenario 2 – Datos de prueba.*

Observado	Pronosticado		Porcentaje correcto
	NO (0)	SÍ (1)	
NO (0)	87	40	68.5%
SÍ (1)	9	25	73.5%
	<b>TOTAL</b>		<b>69.6%</b>

En base a esta última revisión, y viendo que el Escenario 2 tuvo una mejor capacidad predictiva, sumado al hecho de un mayor valor de  $R^2$  de Nagelkerke, el modelo predictivo será el obtenido a través del Escenario 2; siendo el modelo Logit el siguiente:

$$\Pr (y=1) = \frac{1}{1+e^{-(-1.950 + 1.157 * x_1 + 1.122 * x_2 - 0.018 * x_3 + 0.950 * x_4)}}$$

Donde:

$\Pr(y=1)$ : Probabilidad de que ocurra un suceso en un mes en una empresa contratista o área de compañía.

$X_1$ : Ocurrencia o no de sucesos en el mes anterior en una empresa contratista o área de compañía.

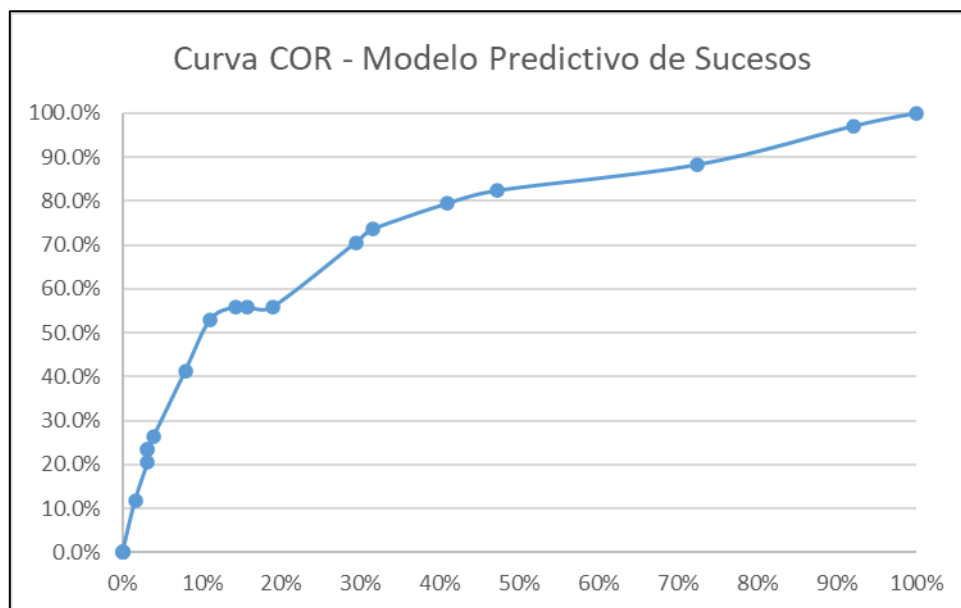
$X_2$ : Ocurrencia o no de observaciones de riesgo alto producto de las inspecciones formales en el mes anterior que son responsabilidad de la empresa contratista o área de compañía.

$X_3$ : Cantidad de hallazgos de riesgo bajo reportados en el aplicativo ocurridos en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior, por cada 100 trabajadores.

$X_4$ : Ocurrencia o no de hallazgos de riesgo alto en el aplicativo en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior.

Considerar que, para pronosticar la ocurrencia de un suceso, el valor pronosticado por el modelo debe ser igual o mayor a la probabilidad relativa de sucesos en todas las áreas de compañía o empresas contratistas incluidas hasta la fecha de corte del análisis, siendo en este caso de 24.1%, es decir el valor de corte es 24.1%.

La curva COR de este modelo se describe en la figura 29 y se obtuvo un AUC de 0.757.

**Figura 29.** Curva COR de Modelo Predictivo para Sucesos.

Por último, al hacer el análisis de los residuos se obtuvo una media de 0.288 y una desviación estándar de 0.241. Al momento de filtrar los casos con errores mayores a una media más dos desviaciones estándar, 0.771; se identificó que todos fueron en casos donde sí ocurrió algún suceso. Más allá de lo indicado, no se decide omitir estos datos ya que presentan valores normales en las variables independientes y no presentan alguna característica en común.

El proceso para la obtención del modelo con los datos de entrenamiento a través de SPSS IBM se detalla en el Anexo B.

#### **5.4. Modelado Predictivo para Sucesos con Severidad de Accidente**

##### **Incapacitantes**

En base a la metodología explicada en 4.6.2 se obtuvieron los siguientes resultados. Cabe considerar que similar a lo tratado en 5.3. se consideraron dos escenarios uno para el caso donde se consideraron las variables AL\_Anterior,

DP\_Anterior, IN\_Anterior y AI\_Anterior (escenario 1); y otra donde se consideró solo la variable Frec\_Anterior (escenario 2) en lugar de las 4 mencionadas previamente; sin embargo, ninguna de estas variables estuvo dentro del grupo de variables que mejor explicaban la probabilidad, por lo que solo se tuvo un escenario final.

Para el escenario indicado se obtuvo como variables que mejor explicaban la probabilidad, las variables de Sev\_Anterior, Insp\_Rep\_Medio, Insp\_Rep\_Alto y Aplic\_Alto, siendo sus resultados los indicados en la tabla 27, 28 y 29, las cuales explican los principales estadísticos asociados al modelo, la capacidad predictiva y las correlaciones entre variables. Además, se obtuvo un valor de  $R^2$  de Nagelkerke de 0.313. Cabe indicar que los resultados mostrados serán para los datos de entrenamiento.

**Tabla 27.** Estadísticos del modelado predictivo para Sucesos de Severidad De Accidente Incapacitantes.

Variables	B	Error estándar	Wald	Sig	Exp(B)
Insp_Rep_Medio	0.057	0.021	7.069	0.008	1.059
Insp_Rep_Alto	1.164	0.363	10.291	0.001	3.201
Sev_Anterior	0.321	0.158	4.142	0.042	1.379
Aplic_Alto	0.612	0.352	3.013	0.083	1.843
Constante	-2.856	0.291	96.237	< 0.001	0.058

**Tabla 28.** Tabla de Clasificación de modelado predictivo para Sucesos de Severidad De Accidente Incapacitantes.<sup>7</sup>

Observado	Pronosticado		Porcentaje correcto
	NO (0)	SÍ (1)	
NO (0)	178	65	73.3%
SÍ (1)	18	43	70.5%
	<b>TOTAL</b>		<b>72.7%</b>

<sup>7</sup> Se considera un valor de corte de 17.4%

**Tabla 29.** Matriz de Correlaciones – Variables Independientes de modelado predictivo para Sucesos de Severidad De Accidente Incapacitantes.

Variables	Insp_Rep_Medio	Insp_Rep_Alto	Sev_Anterior	Aplic_Alto
Insp_Rep_Medio	1.000	-0.376	-0.310	-0.183
Insp_Rep_Alto	-0.376	1.000	0.083	-0.052
Sev_Anterior	-0.310	0.083	1.000	-0.171
Aplic_Alto	-0.183	-0.052	-0.171	1.000

Si bien Aplic\_Alto no cumple con el criterio de significancia (menor a 0.05) se mantiene en el modelo debido a que fue una de las variables que explican bien la probabilidad de ocurrencia de sucesos (ver 5.3). Por último, antes de establecer el modelo final, se revisó los resultados del modelo en los datos de prueba en la tabla 30.

**Tabla 30.** Tabla de Clasificación de modelado predictivo para Sucesos de Severidad De Accidente Incapacitantes – Datos de prueba.

Observado	Pronosticado		Porcentaje correcto
	NO (0)	SÍ (1)	
NO (0)	96	45	68.1%
SÍ (1)	5	15	75.0%
<b>TOTAL</b>			<b>68.9%</b>

En base a estos datos y viendo que el modelo tiene una  $R^2$  de Nagelkerke superior a 0.3, además de que los valores de porcentaje correcto, especificidad y sensibilidad superan el 60%, el modelo quedaría de la siguiente forma:

$$\Pr(y=1) = \frac{1}{1 + e^{-(-2.856 + 0.057 * x_1 + 1.164 * x_2 + 0.321 * x_3 + 0.612 * x_4)}}$$

Donde:

Pr(y=1): Probabilidad de que ocurra un suceso con una severidad de accidente incapacitante en un mes en una empresa contratista o área de compañía.

X<sub>1</sub>: Cantidad de observaciones de riesgo medio producto de inspecciones formales en el mes anterior que son responsabilidad de la empresa contratista o área de compañía.

X<sub>2</sub>: Ocurrencia o no observaciones de riesgo alto producto de inspecciones formales en el mes anterior que son responsabilidad de la empresa contratista o área de compañía.

X<sub>3</sub>: Promedio de valores de severidad (ver Tabla 9) de los sucesos ocurridos en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior.

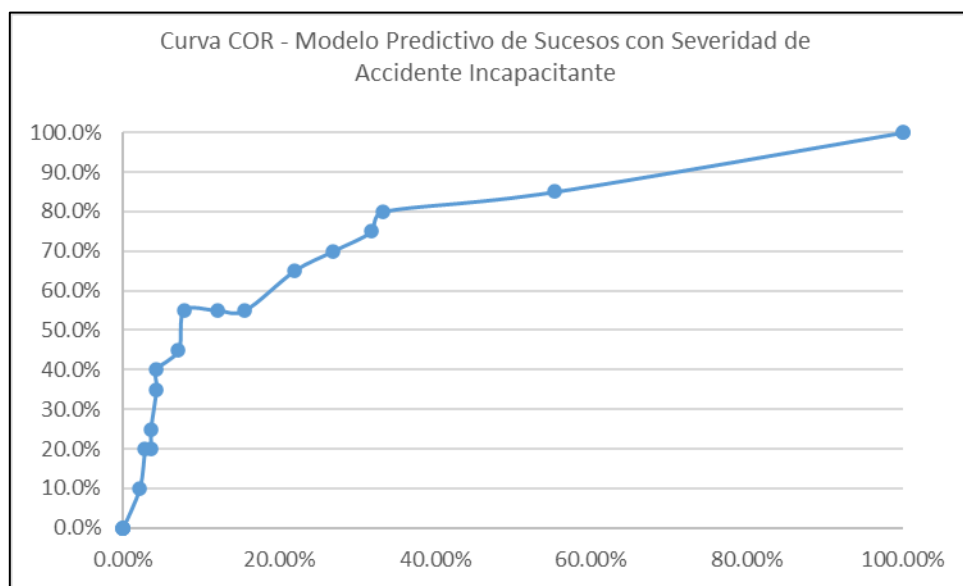
X<sub>4</sub>: Ocurrencia o no de hallazgos de riesgo alto en el aplicativo en la empresa contratista o área de compañía en el mes anterior.

Considerar que, para pronosticar la ocurrencia de un suceso con severidad de accidente incapacitante, el valor pronosticado por el modelo debe ser igual o mayor a la probabilidad relativa de sucesos en toda las áreas o empresas contratistas incluidas hasta la fecha de corte del análisis, siendo en este caso de 17.4%, es decir el valor de corte es 17.4%.

La curva COR de este modelo se describe en la figura 30 y se obtuvo un AUC de 0.778



**Figura 30.** Curva COR de Modelo Predictivo para Sucesos con Severidad de Accidente Incapacitante.



Por último, al hacer el análisis de los residuos se obtuvo una media de 0.119 y una desviación estándar de 0.239. Al momento de filtrar los casos con errores mayores a una media más dos desviaciones estándar, 0.712; se identificó que la mayoría fueron en casos donde sí ocurrió algún suceso con severidad de accidente incapacitante (85%). Más allá de lo indicado, no se decide omitir estos datos ya que presentan valores normales en las variables independientes y no presentan alguna característica en común.

El proceso para la obtención del modelo a través de SPSS IBM se detalla en el Anexo C.

## **6. CAPÍTULO VII: PROPUESTA DE METODOLOGÍA DE PREVENCIÓN DE ACCIDENTES**

Como se comentó previamente, la propuesta de metodología de prevención de accidentes se basó en el programa de SBC y considerando que se aplica la última etapa del proceso de análisis predictivo, que es la predicción y monitoreo.

Se trabajó con el modelo que predice los sucesos con severidad de accidente incapacitante debido a que presentó mejores resultados que el modelo que predice los sucesos.

Por último, para una mejor explicación se analizó los datos de la Empresa 6 en el mes de análisis octubre 2017 (por lo tanto, se verán los datos del mes previo setiembre 2017), ya que en este mes el modelo predijo la ocurrencia de un suceso con severidad de accidente incapacitante y fue también lo observado.

### **6.1. Condiciones Previas**

Actualmente, los informes de investigación de accidentes e incidentes permiten tener el registro del tipo de causas inmediatas (actos y condiciones subestándares). El aplicativo también, pero no son las mismas; mientras que las inspecciones formales no permiten el registro del tipo de causa inmediata; por lo que la primera condición sería uniformizar los tres tipos de fuente principales mediante el tipo de registro, en este caso la variable tipo evento que se nombró en el capítulo 4.4.

Este ejercicio (el de tener el tipo de evento) se ha realizado en la presente investigación, sin embargo, lo ideal sería que esto sea generado de manera automática como registro en el aplicativo y en las inspecciones formales; para lo cual se debe tener como segunda condición, el capacitar a los usuarios del aplicativo y a los responsables de inspecciones sobre la uniformidad en los distintos tipos de fuente de información.

## 6.2. Diagnóstico

Esta etapa tiene como fin identificar los principales actos y/o condiciones subestándares que pueden originar algún suceso.

Primero, en base a los datos ya existentes, se identifican las principales variables que explican la probabilidad de ocurrencia de sucesos con severidad de accidente incapacitante (ver capítulo 5).

En este caso tenemos que las variables fueron:

- Insp\_Rep\_Alto
- Aplic\_Alto
- Sev\_Anterior
- Insp\_Rep\_Medio

Posteriormente se realizará un análisis de cada uno de los hallazgos, observaciones de sucesos de las variables.

Tal análisis consiste en revisar los tipos de eventos que corresponden a cada hallazgo, observación o causa inmediata del suceso. Por ejemplo, si se detectó que existieron dos (02) hallazgos de riesgo alto en el área de compañía o empresa contratista, se registran los tipos de evento, es decir se registra que uno de esos hallazgos fue de “iluminación insuficiente / excesiva” y el otro fue de “no identificar peligro”. Esto se detalla en la tabla 31 para el caso ejemplo.

**Tabla 31.** *Tipos de Evento según la Variable Independiente.*

Variable	Cantidad	Tipos	Cantidad
Insp_Rep_Alto	1	Desorden /Aseo inexistente o deficiente.	1
Aplic_Alto	10	Presencia no autorizada de Materiales Peligrosos.	2

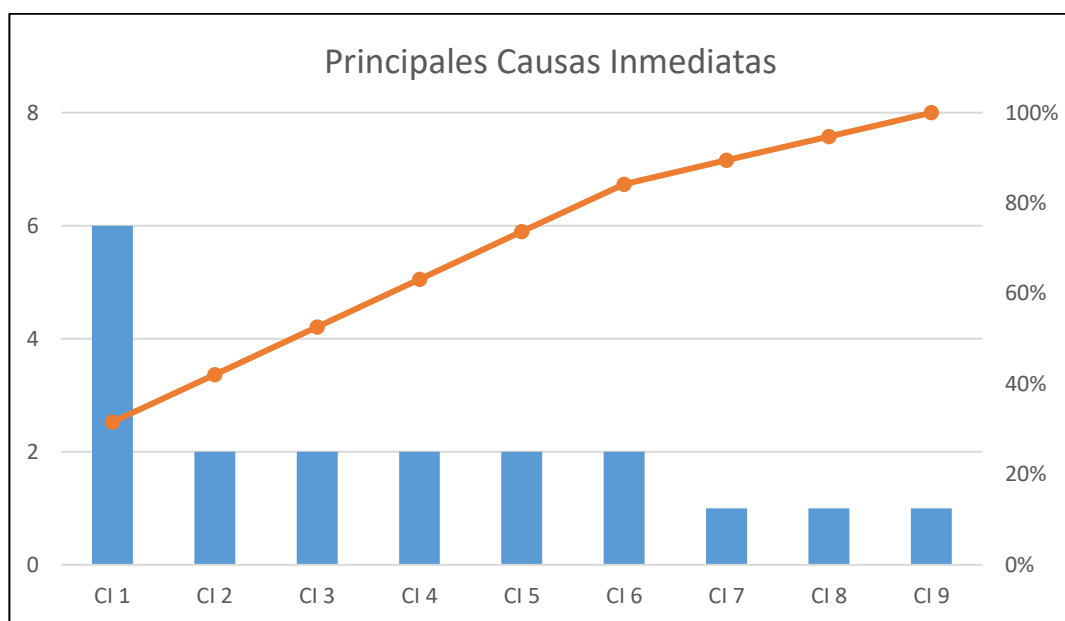
Variable	Cantidad	Tipos	Cantidad
		Operación inadecuada de herramienta/Equipo/Máquina/Dispos.	2
		Sistema de advertencia inadecuado.	1
		No seguir Procedimientos / Instrucciones	1
		Omisión de informar/ advertir.	1
		Herramienta /Equipo defectuoso.	1
		Ventilación Inadecuada.	1
		Otro	1
Sev_Anterior	2	Omisión de informar/ advertir.	1
		No seguir Procedimientos / Instrucciones.	1
		Desorden /Aseo inexistente o deficiente.	5
Insp_Rep_Medio	8	Material Incorrecto	1
		Sistema de advertencia inadecuado.	1
		Otro	1

Para el caso de la variable Sev\_Anterior, se analizan los sucesos ocurridos en el mes anterior y se cuentan las causas inmediatas, registrándose los tipos de causas inmediatas.

Una vez que se hizo el registro por separado, se analizan cuáles fueron los tipos de evento más frecuentes y se ordenan de mayor a menor con la finalidad de realizar un diagrama de Pareto, lo cual se describe en la tabla 32 y figura 31. Cabe indicar que para la elaboración de la figura se excluye los categorizados como "otro".

**Tabla 32.** Resumen de Tipos de Causas Inmediatas en el Mes Anterior.

Código	Causa Inmediata	Cantidad
CI1	Desorden /Aseo inexistente o deficiente.	6
-	Otro	2
CI2	Presencia no autorizada de Materiales Peligrosos.	2
CI3	Operación inadecuada de herramienta/Equipo/Máquina/Dispositivo.	2
CI4	Sistema de Advertencia Inadecuado	2
CI5	No seguir Procedimientos / Instrucciones.	2
CI6	Omisión de informar/ advertir.	2
CI7	Herramienta /Equipo defectuoso.	1
CI8	Ventilación Inadecuada.	1
CI9	Material Incorrecto	1

**Figura 31.** Diagrama de Pareto de Causas Inmediatas en el Mes Anterior.

Cabe indicar que lo ideal sería trabajar en las causas básicas o en las faltas de control según la teoría de causalidad de pérdidas de Bird (1985); sin embargo, estas no son tan fácilmente detectables para el caso de reportes en el aplicativo o en inspecciones formales; por lo que orientamos los esfuerzos a las causas inmediatas.

### 6.3. Planificar la Acción

Esta parte se divide en tres partes:

- **Diseño:** Elegir los principales actos y/o condiciones subestándares que pueden generar sucesos con severidad de accidente incapacitante. Para esto se elegirán los que han presentado un mayor porcentaje de ocurrencia (basándose en el principio de Pareto), ya que son los que cuentan con mayor probabilidad de generar un suceso. Se recomienda no seleccionar más de tres (03), ya que el tener un mayor número puede generar que no todos se aborden correctamente.

Para el caso del ejemplo, como criterio de decisión, se elegirán a los tipos con mayor frecuencia en las variables de mayor impacto, es decir, las que tienen un mayor odds-ratio, por lo que para el caso ejemplo, se seleccionaron:

- Desorden /Aseo inexistente o deficiente.
- Presencia no autorizada de Materiales Peligrosos.
- Sistema de advertencia inadecuado.
- **Método de intervención:** Feedback, campañas de sensibilización, entre otros.
- **Método de control:** Elección de indicador, en este caso sería el siguiente:

$$\text{Índice de Sucesos Incapacitantes} = \frac{\text{Número de Sucesos con Severidad de Accidente Incapacitante}}{\text{Horas Hombre Trabajada de área de compañía o empresa contratista}} \times 10^6$$

#### **6.4. Material Formativo**

Con la finalidad de explicar a los responsables del servicio de SST de la empresa contratista y los responsables del área de la empresa donde se ejecutará esta metodología, se preparará material formativo sobre la forma de realizar el reporte en el aplicativo, el registro de las inspecciones y el porqué de las decisiones tomadas (explicación de 6.2 y 6.3).

#### **6.5. Intervención**

Una vez explicado los resultados a los responsables, estos deben establecer algunas estrategias para la disminución y control de los actos y condiciones subestándar identificados como los más frecuentes. Estas estrategias pueden estar asociadas a feedback, campañas de sensibilización u otras medidas que eviten la generación de estas causas inmediatas (causas básicas y fallas de control).

Cabe indicar que la intervención se podrá realizar en todas las áreas de compañía o empresas contratistas, poniendo un énfasis mayor en aquellas áreas que según el modelo predictivo, tendrán un suceso con severidad de accidente incapacitante.

#### **6.6. Monitoreo**

Una vez aplicada las acciones de intervención (frecuencia mensual), se volverá a realizar el análisis detallado en 6.2 con la finalidad de identificar cuáles serán los actos y condiciones subestándares a ser tratados y que deben pasar por la etapa de intervención.

De manera semestral, se calculará el indicador explicado en 6.3 con la finalidad de evaluar los resultados de la metodología implementada. En base a dichos resultados, se tomarán decisiones en la etapa de reajuste.

#### **6.7. Reajuste**

Se evaluará nuevamente el modelo predictivo para poder identificar los posibles cambios que han existido y, probablemente, identificar nuevas variables que predigan la probabilidad de ocurrencia de sucesos con severidad incapacitante.

Además, se hará el reajuste sobre las medidas de intervención que han sido aplicadas, en casos los resultados de la metodología no hayan sido los esperados.



## 7. CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

En base a los resultados obtenidos, se pudo proponer una metodología para la prevención de accidentes mediante el uso de herramientas predictivas, en esta ocasión se identificó como herramienta posible a la regresión logística.

Los modelos de regresión logística establecidos para la prevención de accidentes tienen los resultados indicados en la tabla 33.

**Tabla 33.** Resumen de Resultados de Modelos Predictivos.

Valores	Modelo Predictivo de Sucesos	Modelo Predictivo de Sucesos con Severidad de Accidente Incapacitante
Porcentaje Correcto	69.6%	68.9%
Especificidad	68.5%	68.1%
Sensibilidad	73.5%	75.0%
R <sup>2</sup> de Nagelkerke	0.293	0.3
AUC	0.757 (75.7%)	0.778 (77.8 %)

Por lo que se puede concluir que se puede usar ambos modelos y lograr una predicción adecuada de la ocurrencia de un suceso y de un suceso con severidad de accidente incapacitante, ya que supera el resultado de 50% en porcentaje correcto, especificidad y sensibilidad; además que tiene una R<sup>2</sup> de Nagelkerke alrededor del 0.3; lo cual se considera como válidos según lo planteado en 4.6.1. Todo esto valida la hipótesis de la investigación de que la técnica de regresión es de utilidad en la prevención de accidentes de trabajo; ya que permite predecir la

ocurrencia de sucesos (incluidos accidentes de trabajo) lo cual lleva a la toma de acciones para evitarlas.

Además, las variables independientes que predicen la ocurrencia de sucesos fueron las indicadas en la tabla 34.

**Tabla 34.** Variables Independientes Predictoras Identificadas

Modelo de Prevención de Sucesos	Modelo de Prevención de Sucesos con Severidad de Accidente Incapacitante
• Frec_Anterior.	• Sev_Anterior
• Insp_Rep_Alto.	• Insp_Rep_Alto
• Aplic_Bajo.	• Insp_Rep_Medio
• Aplic_Alto.	• Aplic_Alto

En cuanto a las variables relacionadas a riesgo alto, medio o bajo, se debe considerar que los hallazgos y observaciones son en sí, causas inmediatas (ver 2.4.1) de sucesos que pueden ocurrir en la organización si es que se dan determinadas circunstancias. Sin embargo, su registro en el aplicativo y en los exceles de registro de inspección están más orientados a una corrección inmediata, es decir, eliminar las causas inmediatas, pero no a considerar cuáles fueron las causas básicas que llevaron a su aparición en las actividades de trabajo. Ante esto, por ejemplo, un hallazgo de riesgo alto puede ser corregido pero la causa que lo originó aún está latente y puede generar otro riesgo alto al siguiente mes, que, en determinadas circunstancias, puede generar un suceso.

En el caso de las variables Aplic\_Alto e Insp\_Rep\_Alto son predictoras en ambos modelos y cuentan con odds ratio mayores a 1 (incluso Insp\_Rep\_Alto presenta valores mayores de 3), es decir, su ocurrencia aumenta la probabilidad de la variable repuesta; lo cual puede se debe a que los hallazgos de riesgo alto presentan una mayor probabilidad de ocurrencia de accidentes requiriendo la toma de acción inmediata como se pudo ver en la tabla 8.

La variable *Insp\_Rep\_Medio* es predictora en el segundo modelo y cuenta con un odds-ratio de 1.059, siendo el menor odds-ratio entre las variables predictoras. Esto se debe a que, si bien el riesgo medio debe ser tratado en un plazo máximo de 3 días, no tiene el mismo impacto que los hallazgos u observaciones de riesgo alto.

La variable *Aplic\_Bajo* es predictora en el primer modelo, pero cuenta con un odds-ratio menor a 1 por lo que a un mayor valor de esta variable disminuirá la probabilidad de ocurrencia de sucesos; esto se debe a que su impacto es menor a los de riesgo alto y medio. Además, a un mayor número de hallazgos de riesgo bajo previos, menor probabilidad de ocurrencia de un suceso lo cual puede deberse a que la mayoría de hallazgos son de este riesgo, por lo que el indicador de hallazgos riesgo bajo se acerca al indicador de hallazgos en general; esto quiere decir que un mayor nivel de reporte al aplicativo puede prevenir la ocurrencia de sucesos; por lo que se recomienda profundizar este punto mediante otras técnicas de predicción existentes.

La variable *Frec\_Anterior* es predictora en el primer modelo con un Odds-ratio de 3.18, lo cual indica que antes de la ocurrencia de un suceso determinado han ocurrido otros con causas similares, como lo indica Bird (1985) y Schwarz (2017).

La variable *Sev\_Anterior* es predictora en el segundo modelo con un Odds-ratio de 1.379, lo cual indica que, para la predicción de un suceso con severidad de accidente incapacitante, tiene mayor relevancia la severidad de los sucesos previos que sola ocurrencia de los mismos. Además de que, el tener sucesos con una mayor severidad predicen la ocurrencia de sucesos con severidad de accidente incapacitante; lo cual se puede deber a que los sucesos de severidad considerable no han sido investigados de manera adecuada, lo que ha generado que no se eliminen sus causas y por lo consiguiente que vuelvan a ocurrir sucesos con la misma o mayor severidad. Se recomienda validar lo último indicado con otras técnicas predictivas existentes.

Para el caso de las inspecciones, tiene mayor importancia las observaciones que son responsabilidad de un área de la compañía o empresa contratista que las observaciones que son halladas en un área o empresa contratista, lo cual puede estar relacionado a que las observaciones que son responsabilidad dependen únicamente del área de compañía o empresa contratista, es decir, dependen únicamente de su gestión SST; lo cual está relacionado con la primera causa de los accidentes, la falta de control de las organizaciones.

Solamente las variables relacionadas al OTO no han sido parte de alguno de los modelos predictivos. Esto se debe a que los resultados negativos del OTO no llevan un plan de acción de corrección específico, sino hasta inicios del año 2019; por lo que no existe ningún esfuerzo asociado al OTO negativo y su orientación a la disminución de accidentes de trabajo.

En base a esto se puede concluir que las variables relacionadas a los actos y condiciones subestándar (Insp\_Rep\_Medio; Insp\_Rep\_Alto, Aplic\_Bajo, Aplic\_Alto), los incidentes y accidentes y resultados de gestión de SST<sup>8</sup> (Frec\_Anterior y Sev\_Anterior) son aquellas que permiten predecir la ocurrencia de sucesos (incluidos accidentes de trabajo) siendo parte de un modelo matemático que ayuda a predecir su ocurrencia en un área de compañía o empresa contratista, lo cual valida la hipótesis específica de la presente investigación.

Al comparar los resultados de la regresión logística usada en esta investigación con la usada por Muñoz (2018), se pudo ver que se tienen porcentajes correctos menores en un rango 2 a 3%. Sin embargo, a diferencia de Muñoz, el modelo planteado tiene como unidad de observación el comportamiento de un área de compañía o empresa contratista en un mes calendario en lugar del comportamiento de una construcción en un año, lo que genera un uso más continuo del modelo obtenido en la presente investigación.

---

<sup>8</sup> En 3.3 Situación de la SST en el Sujeto de Estudio se indicó que los objetivos de SST están asociados al cálculo de los indicadores de frecuencia y severidad de los accidentes incapacitantes ocurridos, por lo que las variables Frec\_Anterior y Sev\_Anterior están alineadas a los resultados de la gestión SST.

Por último, cabe indicar las limitaciones de la presenta investigación:

- No se incluyeron a todas las áreas de compañía y empresas contratistas, solo las que realizan actividades de alto riesgo de manera rutinaria (todas las que hacen IPERC Continuo de manera por lo menos diaria) y que cuentan con acceso al aplicativo.
- No se incluyeron accidentes ocurridos fuera de las instalaciones de la unidad minera.
- El modelo solo considera el resultado de un mes anterior para realizar la predicción. Se recomienda en futuras investigaciones, evaluar la predicción considerando resultado de dos a tres meses anteriores.

En cuanto a la metodología propuesta, esta se basó en la implementación de un programa de SBC, cambiando el análisis de conductas clave por el análisis de las variables predictoras de los modelos predictivos establecidos. Luego de esto, la acción estará enfocada en los tipos de actos y/o condiciones subestándares de mayor ocurrencia (principio de Pareto) en el mes previo.

En base a esto se valida la hipótesis de que la metodología propuesta puede considerar el análisis predictivo, el principio de Pareto y basarse en una metodología previa ya implementada y con eficacia validada como la seguridad basada en el comportamiento.

## 8. CONCLUSIONES

El objetivo de esta tesis era establecer una metodología para la prevención de accidentes mediante análisis predictivo para lo cual primero se estableció un modelo predictivo y luego se realizó la propuesta de metodología.

Si bien la finalidad es predecir accidentes, se establecieron dos modelos predictivos que permitan predecir la ocurrencia de sucesos en general y de sucesos con severidad de accidente incapacitante debido a que las causas de todos los sucesos son similares, por lo que la prevención de los sucesos en general, previene también los accidentes.

En base a esto se concluyó lo siguiente:

- La regresión logística es una de las técnicas de análisis predictivo útiles en SST.
- Los datos de actos y condiciones subestándares y accidentabilidad previa (un mes antes) son predictores de la ocurrencia de incidentes y accidentes en el área de una empresa y/o en las empresas contratistas que trabajan de manera recurrente en las instalaciones de la empresa.
- Las fuentes de información que aportan a los modelos de predicción de sucesos (accidentes e incidentes) son la información de los informes de investigación de sucesos, observaciones de los inspecciones formales y reportes en el aplicativo usado en el sujeto de estudio.
- Una mayor severidad de los sucesos previos significa una mayor probabilidad de ocurrencia de sucesos con severidad de accidente incapacitante.

- La ocurrencia de observaciones y hallazgos de riesgo alto tiene un alto impacto en la predicción de sucesos en general y de sucesos con la severidad de accidente incapacitante.
- Una mayor cantidad de reportes de riesgo bajo en el aplicativo significa una menor probabilidad de ocurrencia de sucesos.
- Una mayor cantidad de observaciones de inspecciones formales riesgo medio responsabilidad de una empresa contratista o área de la compañía significa una mayor probabilidad de ocurrencia de sucesos con severidad de accidente incapacitante pero no tanta como el impacto de observaciones de riesgo alto.
- Las observaciones responsabilidad de una empresa contratista o área de una empresa tienen mayor impacto en la predicción de sucesos que las observaciones halladas en sus áreas de trabajo.
- El modelo de predicción de sucesos tiene una capacidad predictiva de 69.6% y un área bajo la curva COR (capacidad de discriminación) de 0.757; mientras que el modelo de predicción de sucesos con severidad de accidente incapacitante de 68.9% y un área bajo la curva COR de 0.778, por lo que se concluye que los modelos predictivos establecidos tienen una capacidad de discriminar la ocurrencia de un suceso y de un suceso con severidad de accidente incapacitante mejor que el azar.
- El establecimiento del modelo predictivo y el principio de Pareto permiten establecer una propuesta de metodología para la prevención de accidentes.

## 9. RECOMENDACIONES

En base a las conclusiones del presente estudio se recomienda lo siguiente respecto a la gestión de seguridad y salud en el trabajo:

- Diseñar e implementar, en la medida de lo posible, aplicativos u otros registros de seguridad que permitan el reporte y almacenamiento de información relacionada a actos y condiciones subestándares y sucesos que permitan aplicar técnicas de análisis predictivo como la regresión logística.
- Recopilar de manera continua los datos, como cantidades o tipos de actos y condiciones subestándares que suceden en las diversas áreas de una empresa y/o en las empresas contratistas que trabajan de manera recurrente en las instalaciones de la empresa, producto de reportes en aplicativos e inspecciones formales.
- Recopilar de manera continua los datos, como cantidades o tipos de causas inmediatas y básicas de los sucesos ocurridos en las diversas áreas de una empresa y/o en las empresas contratistas que trabajan de manera recurrente en las instalaciones de la empresa, producto de las investigaciones de incidentes y accidentes de trabajo.
- Establecer niveles de investigación según la severidad del suceso ocurrido, esto con la finalidad de que los sucesos de mayor severidad cuenten con un mayor nivel de investigación y una mejor determinación de causas.
- Priorizar el cierre total de actos y condiciones subestándares de riesgo alto, es decir, analizar sus causas y en base a esto tomar acciones correspondientes.
- Promover el reporte de actos y condiciones subestándares en los trabajadores con la finalidad de tener mayor información y de poder actuar de manera oportuna ante estas desviaciones.



- Evaluar el desempeño de una empresa contratista o de un área de la empresa por la cantidad de actos u condiciones subestándares que son de su responsabilidad y no por la cantidad ocurrida en su área de trabajo.
- Considerar e incluir al análisis predictivo como una técnica para la gestión de la seguridad y salud en el trabajo, similar a la investigación de accidentes, capacitaciones, estandarización, etc.

Además, en base a las conclusiones del presente estudio se recomienda para futuras investigaciones, lo siguiente:

- Completar el proceso de análisis predictivo con la aplicación de la etapa de predicción y monitoreo.
- Poner a prueba la propuesta de metodología planteada y evaluar sus resultados.
- Establecer modelos predictivos mediante otras técnicas como árboles de decisión, redes neuronales y técnicas basadas en estadística bayesiana.
- Ampliar el uso del análisis predictivo a otros campos de la SST como la prevención de enfermedades ocupacionales o la disminución de costos indirectos y directos de accidentes e incidentes.
- Incluir como variables independientes, otras variables más relacionadas a la gestión proactiva como cumplimiento de programa anual, capacitaciones, toma de conciencia del personal, etc.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benner Jr, L. (2019). Accident investigation data: Users' unrecognized challenges. *Safety Science*, 118, 309-315.
- A. de Ruijter, & F. Guldenmund. (2016). The bowtie method: A review. *Safety Science*, 88, 211-218.
- Aluja, T., & Delicado, P. (2005). Modelización estadística paramétrica. En J. Hernández Orallo, M. J., & C. Ferri Ramírez, *Introducción a la Minería de Datos* (págs. 165-212). Madrid: Pearson Educación S.A.
- American Petroleum Institute. (Marzo de 2010). *Recommended Practice 754. Process Safety Indicators for the Refining and Petrochemical Industries*. Obtenido de api.org: <https://www.api.org/-/media/Files/Oil-and-Natural-Gas/Refining/Process%20Safety/RP-754-Fact-Sheet.pdf?la=en&hash=787496971FF711707FEDDDF9040A487E3D61CFC7>
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (Diciembre de 1948). Declaración Universal de Derechos Humanos. *un.org*, 57. Obtenido de [https://www.un.org/es/documents/udhr/UDHR\\_booklet\\_SP\\_web.pdf](https://www.un.org/es/documents/udhr/UDHR_booklet_SP_web.pdf)
- Badawy, M., El-Aziz, A., Idress, A., Hefny, H., & Hossam, S. (Abril de 2016). A survey on exploring key performance indicators. *Future Computing and Informatics Journal*, 1, 47-52.
- Baker, III, J., Bowman, F., Erwin, G., Gorton, S., Hendershot, D., Leveson, N., . . . Wilson, L. (2007). *The Report of the BP U.S. Refineries Independent Safety Review Panel*.
- Bird, F. J. (1985). *Liderazgo práctico en el control de pérdidas*.
- BSI, B. S. (2019). Occupational health and safety management systems - General guidelines for the application of ISO 45001. Part 2. Risk and oppurtinities.
- Camarero Roja, L., Almazán Llorente, A., & Mañas Ramírez, B. (2013). *Regresión Logística: Fundamentos y aplicación a la investigación sociológica*. UNED, Sociología I. Obtenido de [https://www2.uned.es/socioestadistica/Multivariante/Odd\\_Ratio\\_LogitV2.pdf](https://www2.uned.es/socioestadistica/Multivariante/Odd_Ratio_LogitV2.pdf)
- Cerda, J., & Cifuentes, L. (2012). Uso de curvas ROC en investigación clínica. *Revista Chilena de Infectología*, 29, 138-141.

- Chi, S., & Han, S. (Octubre de 2013). Analyses of systems theory for construction accident prevention with specific reference to OSHA accident reports. *International Journal of Project Management*, 31(7), 1027-1041.
- Congreso Constituyente Democrático. (Octubre de 1993). Constitución Política del Perú 1993. Obtenido de <http://www.congreso.gob.pe/Docs/files/documentos/constitucionparte1993-12-09-2017.pdf>
- Congreso de la República del Perú. (2011). Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- Cortés, J. M. (2012). *Seguridad e Higiene en el Trabajo. Técnicas de Prevención de Riesgos Laborales*. TÉBAR FLORES, S.L.
- Cossio Peralta, A. J. (2016). Hacia una Aproximación al Estudio del Impacto Económico de los Accidentes de Trabajo en el Perú durante los años 2011 a 2014: La Prevención de los Riesgos Laborales y la Productividad. *Derecho & Sociedad*(46), 401-413. Obtenido de *Derecho & Sociedad*, (46), 401-413.: <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechoysociedad/article/view/18862>
- Crawley, F. (2020). 18 - Bow-tie diagrams. En F. Crawley, *A Guide to Hazard Identification Methods* (págs. 193-202). Elsevier.
- DeCamp, W., & Herskovitz, K. (2015). 5 - The Theories of Accident Causation. En *Security Supervision and Management* (4 ed., págs. 72-73).
- DNV. (2006). International Sustainability Rating System. 7.
- DNV. (2015). *Systematic Cause Analysis Technique (SCAT 8.2)*. Obtenido de <https://www.dnv.com/>: [https://images.e.dnvgl.com/Web/DNVGL/%7B637b1ec8-7768-40f7-b6e6-92144e3d68e4%7D\\_Introduction\\_to\\_M-SCAT\\_rev4.2.pdf](https://images.e.dnvgl.com/Web/DNVGL/%7B637b1ec8-7768-40f7-b6e6-92144e3d68e4%7D_Introduction_to_M-SCAT_rev4.2.pdf)
- Espino Timón, C. (Enero de 2017). Análisis predictivo: técnicas y modelos utilizados y aplicaciones del mismo - herramientas Open Source.
- Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters*, 27, 861-874.
- Ferre Jaén, M. E. (Abril de 2019). Fundamentos Estadísticos para Investigación. Introducción a R y Modelos. Apuntes del Curso FEIR 3: FEIR 45 Regresión Logística. Obtenido de <https://gauss.inf.um.es/feir/45/>

- Giraldo Paredez, E., & Badillo Bohorquez, J. (15 de Julio de 2015). Implicancias técnicas y económicas de los accidentes mortales en la minería peruana. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 18(35). Obtenido de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11846>
- Grant, E., Salmon, P., Stevens, N., Goode, N., & Read, G. (2018). Back to the future: What do accident causation models tell us about accident. *Safety Science*, 104, 99-109.
- Grupo Hochschild. (18 de Abril de 2018). Estándar: Aprender de los Eventos.
- Gui, F., Xuecai, X., Qingsong, J., Zonghan, L., & Pin, C. (2020). The development history of accident causation models in the past 100 years: 24Model, a more modern accident causation model. *Process Safety and Environmental Protection*, 134, 47-82.
- Guo, B., Miang Goh, Y., & Xin Wong, K. (2018). A system dynamics view of a behavior-based safety program in the construction industry. *Safety Science*, 104, 202-215.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. México D.F.: INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hernández Orallo, J., María José, R., & Ferri Ramírez, C. (2004). *Introducción a la Minería de Datos*. Madrid: Pearson Educación S.A.
- Hopkins, A. (Abril de 2009). Thinking About Process Safety Indicators. *Safety Science*, 47(4), 460-465.
- ISO, I. S. (2018). ISO 31000 Gestión del Riesgo - Directrices. 2.
- ISO, I. S. (2018). ISO 45001:2018. *Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo — Requisitos con orientación para su uso*.
- Jacinto, C., & Silva, C. (2010). A semi-quantitative assessment of occupational risks using bow-tie representation. *Safety Science*, 973-979.
- Jacobs, M. (2016). Los indicadores clave del desempeño equivocados pueden impulsar la conducta equivocada. *EHS Today*. Obtenido de <https://latam.consultdss.com/wrong-kpis/>
- Kang, K., & Ryu, H. (2019). Predicting types of occupational accidents at construction sites in Korea. *Safety Science*, 120, 226-236.

- Khanzode, V., Maiti, J., & Ray, P. (2012). Occupational injury and accident research: A comprehensive review. *Safety Science*, *50*, 1355-1367.
- Kiran, D. (2017). Chapter 20 - Seven Traditional Tools of TQM. En D. R. Kiran, *Total Quality Management* (págs. 271-290). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Kumar, V., & Garg, M. (2018). Predictive Analytics: A Review of Trends and Techniques. *International Journal of Computer Applications*, *182*, 31-37.
- Larouzee, J., & Le Coze, J.-C. (2020). Good and bad reasons: The Swiss cheese model and its critics. *Safety Science*, *126*.
- Leveson, N. (2004). A new accident model for engineering. *Safety Science*, *42*, 237-270.
- Liu, Q., Peng, Y., Li, Z., Zhao, P., & Qiu, Z. (2021). Hazard identification methodology for underground coal mine risk management - Root-State Hazard Identification. (72, Ed.) *Resources Policy*.
- Liu, W., Zhai, S., & Liu, W. (2019). Predictive Analysis of Settlement Risk in Tunnel Construction: A Bow-Tie-Bayesian Network Approach. *Advances in Civil Engineering*, 1-19.
- López-Roldán, P., & Fachelli, S. (2015). Capítulo III.10 Análisis de regresión logística. En P. López-Roldán, & S. Fachelli, *Metodología de la Investigación Social Cuantitativa* (págs. 5-54). Barcelona: Creative Commons. Obtenido de <http://ddd.uab.cat/record/129382>
- Macpherson, R., Yousefi, M., & McLeod, C. (2021). Determining hazard management changes in workplaces following workplace safety inspections by WorkSafeBC in British Columbia, Canada. *Safety Science*, *140*.
- Manuele, F. A. (2013). Chapter 10. Reviewing Heinrich: Dislodging Two Myths from the Practice of Safety. En F. A. Manuele, *On the Practice of Safety* (4 ed., págs. 234-256).
- Mariscal, M., López-Perea, E., López-García, J., Herrera, S., & García-Herrero, S. (2019). The influence of employee training and information on the probability of accident rates. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *72*, 311-319.
- Marshall, P., Hirmas, A., & Singer, M. (2018). Heinrich's pyramid and occupational safety: A statistical validation. *Safety Science*, 180-189.

- Martínez Oropesa, C. (2015). La gestión de la seguridad basada en los comportamientos. ¿Un proceso que funciona? *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 61, 424-435.
- Meliá, J. (2007). Seguridad Basada en el Comportamiento. En C. Nogareda, D. Gracia, J. Martínez-Losa, J. Peiró, A. Duro, M. Salanova, . . . J. Meliá, *Perspectivas de Intervención en Riesgos Psicosociales. Medidas Preventivas*. (págs. 157-180).
- Ministerio de Energía y Minas - MINEM. (26 de Julio de 2016). Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería. *Decreto Supremo N° 024-2016-EM*. Perú: Diario El Peruano.
- Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo – MTPE. (2017). *Diseño metodológico para el estudio de valoración económica en materia de seguridad y salud en el trabajo*. Obtenido de [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/583054/Metodologia\\_Valoracion\\_Economica\\_.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/583054/Metodologia_Valoracion_Economica_.pdf)
- Ministerio del Trabajo y Promoción del Empleo - MTPE. (24 de Abril de 2012). Reglamento de la Ley N° 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo. *DS 005-2012-TR*. Diario Oficial de El peruano.
- Ministerio del Trabajo y Promoción del Empleo - MTPE. (14 de Marzo de 2013). Formatos Referenciales que contemplan la información mínima que deben contener los registros obligatorios del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo. *R.M. 050-2013-TR*.
- Muñoz Villalba, J. (Julio de 2018). Diseño y validación de una herramienta predictiva de accidentes laborales en las obras de construcción.
- Muresan, P., Miloşan, I., Senchetru, D., Reit, A., Machedon, T., & Oancea, G. (2019). Study of health and safety in the manufacturing industry using Pareto analysis. *MATEC Web of Conferences*, 1-8.
- National Institute for Occupational Safety and Health - NIOSH. (2020). *Number and rate of occupational mining fatalities by year, 1983 - 2019*. Obtenido de <https://wwwn.cdc.gov/NIOSH-Mining/MMWC/Fatality/NumberAndRate>
- NIOSH. (2020). *Number and rate of occupational mining fatalities by year, 1983 - 2019*. Obtenido de <https://wwwn.cdc.gov/NIOSH-Mining/MMWC/Fatality/NumberAndRate>

- Nolan, D., & Anderson, E. (2015). *Applied Operational Excellence for the Oil, Gas, and Process Industries*.
- Occupational Safety and Health Administration [OSHA]. (Junio de 2019). *Using Leading Indicators to Improve Safety and Health Outcomes*. Obtenido de [www.osha.gov](http://www.osha.gov): <https://www.osha.gov/leading-indicators>
- OIT. (1981). Convenio 155 - Convenio sobre seguridad y salud de los trabajadores. Obtenido de [https://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100\\_ILO\\_CODE:C155](https://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:C155)
- OIT. (1998). Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo.
- OIT. (2005). *Análisis del Empleo y del Trabajo*. Obtenido de Directrices para identificar empleos para personas con discapacidades: [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed\\_emp/---ifp\\_skills/documents/publication/wcms\\_111487.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/---ifp_skills/documents/publication/wcms_111487.pdf)
- OIT. (28 de Abril de 2011). Sistema de gestión de la SST: una herramienta para la mejora continua. Obtenido de [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed\\_protect/@protrav/@safework/documents/publication/wcms\\_154127.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed_protect/@protrav/@safework/documents/publication/wcms_154127.pdf)
- OIT. (2015). *Investigación de accidentes del trabajo y enfermedades profesionales – Guía práctica para inspectores del trabajo*. Obtenido de [www.ilo.org](http://www.ilo.org): [https://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/resources-library/publications/WCMS\\_346717/lang--es/index.htm](https://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/resources-library/publications/WCMS_346717/lang--es/index.htm)
- OIT. (2018). *Seguridad y salud en las minas a cielo abierto*. Obtenido de [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed\\_dialogue/---sector/documents/normativeinstrument/wcms\\_617125.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_dialogue/---sector/documents/normativeinstrument/wcms_617125.pdf)
- OIT. (2019). *Seguridad y salud en el centro del futuro del trabajo. Aprovechar 100 años de experiencia*. Obtenido de [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/--dcomm/documents/publication/wcms\\_686762.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/--dcomm/documents/publication/wcms_686762.pdf)
- Oliveira Rey, R., Rodrigues Santos de Melo, R., & Bastos Costa, D. (2021). Design and implementation of a computerized safety inspection system for construction sites using UAS and digital checklists – Smart Inspects. *Safety Science*, 143.

- Orallo, J., Ramírez Quintana, M., & Ferri Ramírez, C. (2004). *Introducción a la Minería de Datos*. Madrid: Pearson Educación S.A.
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN). (2013). *Análisis Estadístico de Seguridad y Compendio Ilustrativo de Accidentes en el Sector Mediana Minería y Gran Minería - 2013*. Lima: OSINERGMIN.
- Organización Internacional del Trabajo (OIT). (2011). Sistema de gestión de la SST: una herramienta para la mejora continua. Obtenido de [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed\\_protect/@protrav/@safework/documents/publication/wcms\\_154127.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed_protect/@protrav/@safework/documents/publication/wcms_154127.pdf)
- OSINERGMIN. (2013-2019). *Análisis Estadístico de Seguridad y Compendio Ilustrativo de Accidentes en el Sector de Mediana Minería y Gran Minería*.
- P.Purpura, P. (2019). 14 - Safety in the Workplace. En *Security and Loss Prevention* (págs. 435-455).
- Pariona Palomino, J., & Matos Ormeño, W. (2021). Seguridad Basada en el Comportamiento: hacia una cultura del trabajo seguro. *Revista de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 24, 117-123.
- Ramos Galarza, C. (2020). Los Alcances de una Investigación. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 9(3), 1-6.
- Rathnayaka, S., Khan, F., & Amyotte, P. (2011). SHIPP methodology: Predictive accident modeling approach. Part I: Methodology and model description. *Process Safety and Environmental Protection*, 89, 151-164.
- Rivas, T., Paz, M., Martín, J., Matías, J., García, J., & Taboada, J. (2011). Explaining and predicting workplace accidents using data-mining techniques. *Reliability Engineering and System Safety*, 96, 739-747.
- Saavedra González, Á., & Martínez-Alegría López, R. (Marzo de 2018). Análisis de Accidentabilidad en Construcción mediante Técnicas de Minería de Datos.
- Salazar P., C., & Del Castillo G., S. (2018). *Fundamentos Básicos de Estadística*.
- Salminen, S. (2001). *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*.
- Sanmiquel, L., Rossell, J., & Vintró, C. (2015). Study of Spanish mining accidents using data mining techniques. *Safety Science*, 75, 49-55.



- Schwarz Díaz, M. (2017). *Revista Científica de la UCSA*. Obtenido de [https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/4814/Schwarz\\_M ax.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/4814/Schwarz_M ax.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Sehsah, R., El-Gilany, A.-H., & Megahed Ibrahim, A. (Agosto de 2020). *Personal protective equipment (PPE) use and its relation to accidents among construction workers*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7809954/>
- Servicio Nacional de Geología y Minería - SERNAGEOMIN. (2019). *Accidentabilidad Minera año 2019*. Obtenido de <https://www.sernageomin.cl/pdf/Presentacion-Accidentes-2019.pdf>
- Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile [SERNAGEOMIN]. (2014-2020). *Accidentabilidad Minera Año 2013 - 2019*.
- Sheehan, C., Donohue, R., Shea, T., Cooper, B., & De Cieri, H. (Julio de 2016). Leading and lagging indicators of occupational health and safety: The moderating role of safety leadership. *Accident Analysis and Prevention, 92*, 130-138.
- Siegel, E. (2016). *Predictive Analytics: The Power to Predict Who Will Click, Buy, Lie or Die*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
- Sinelnikov, S., Inouye, J., & Kerper, S. (Febrero de 2015). Using leading indicators to measure occupational health and safety performance. *Safety Science, 72*, 240-248.
- Sousa, V., Almeida, N., & Dias, L. (2014). Risk-based management of occupational safety and health in the construction industry – Part 1: Background knowledge. *Safety Science, 66*, 75-86.
- Stough, J. (2016). *Using Leading Indicators to Continuously Improve EHS & Sustainability Performance*. Obtenido de Sphera: [https://sphera.com/app/uploads/2016/09/W-OR-2-Using-Leading-Indicators-to-Continuously-Improve-EHSS-Performance\\_FINAL.pdf](https://sphera.com/app/uploads/2016/09/W-OR-2-Using-Leading-Indicators-to-Continuously-Improve-EHSS-Performance_FINAL.pdf)
- Swuste, P., Theunissen, J., Schmitz, P., Reniers, G., & Blokland, P. (Marzo de 2016). Process safety indicators, a review of literature. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 40*, 162-173.
- Tømmerås Selvik, J., Bansal, S., & Bjorheim Abrahamsen, E. (Enero de 2021). On the use of criteria based on the SMART acronym to assess quality of performance indicators

for safety management in process industries. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 70.

UK Health and Safety Executive. (2006). *Developing process safety indicators. A step-by-step guide for chemical and major hazard industries*. Obtenido de hse.gov.uk:  
<https://www.hse.gov.uk/pubns/priced/hsg254.pdf>

Vassallo, D. (2017). Harness Technology to Improve Risk Management. *Manufacturing Today*, 1-4. Obtenido de <https://www.consultdss.com/harness-technology-to-improve-risk-management-performance/>

Verma, S., & Chaudhari, S. (Enero de 2017). Safety of Workers in Indian Mines: Study, Analysis, and Prediction. *Safety and Health at Work*, 8, 267-275.

Warner, G. (2 de Octubre de 2014). *Can Predictive Analytics Help Reduce Workplace Risk?* Obtenido de <https://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/2014/10/02/pa/>

Workplace Safety and Health Council [WSH Council]. (Setiembre de 2012). *Workplace Safety and Health Guidelines. Process Safety Performance Indicators*. Obtenido de [https://www.tal.sg/wshc/-/media/TAL/Wshc/Resources/Publications/WSH-Guidelines/Files/PSPI\\_Guidelines.pdf](https://www.tal.sg/wshc/-/media/TAL/Wshc/Resources/Publications/WSH-Guidelines/Files/PSPI_Guidelines.pdf)

## 11. ANEXO

## ANEXO A. Preguntas de la Observación de Tarea Operativa (OTO)

OBSERVACIÓN DE TAREAS OPERATIVAS (OTO)	
LUGAR / LABOR: _____	
TAREA/ACTIVIDAD: _____	
	<b>CS</b>   <b>N/A</b>
<b>PERSONA</b>	
1 EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL (EPP)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
a. ¿Usa el EPP para la actividad que realiza?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
b. ¿Su epp está en buen estado?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2 POSTURA CORPORAL	
a. ¿PC adecuada para la actividad que realiza?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
b. ¿Ubicación fuera de la línea de fuego?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<b>EQUIPO Y MATERIALES</b>	
3 EQUIPOS	
a. ¿Realizó el check lis pre uso?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
b. ¿Delimitó y señaló su área de trabajo?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
c. ¿Se aseguró de verificar que los equipos cuentan con sus guardas?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
4 HERRAMIENTAS	
a. ¿Tiene la herramienta establecida para la tarea?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
b. ¿La usa según procedimiento?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<b>AMBIENTE DE TRABAJO</b>	
a. ¿Coloca bloqueo de energias (LOTO)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
b. ¿El área se encuentra ventilada?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
c. ¿Manipula de forma segura los MATPEL?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

<b>OBSERVACIÓN DE TAREAS OPERATIVAS (OTO)</b>			
LUGAR / LABOR: _____			
TAREA/ACTIVIDAD: _____			
<input type="checkbox"/> <b>CS</b>	<input type="checkbox"/> <b>N/A</b>		
<b>CONSIDERACIONES ESPECIALES EN INTERIOR MINA</b>			
a. ¿Trabaja en un área sostenida?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
b. ¿Eliminó rocas sueltas?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
c. ¿Trabaja en una labor con altura de acuerdo al estándar?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
d. ¿Implementa el reflector/luminaria en su labor?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">CS: Comportamiento Seguro</td> <td style="padding: 2px;">N/A: No aplica</td> </tr> </table>		CS: Comportamiento Seguro	N/A: No aplica
CS: Comportamiento Seguro	N/A: No aplica		
Comentario: _____ _____ _____	N° xxxxx		
Observador (Nombre): _____			
Colaborador Observado: _____ _____ _____			
Empresa/Labor: _____ _____	N° xxxxx		

## ANEXO B. Modelado Predictivo de Sucesos a través de SPSS

Notas		
Salida creada	07-MAY-2022 10:20:07	
Comentarios		
Entrada	Datos	D: \\TESIS\Regresión\Pruebas SPSS\Finales - Doble\Base de Datos 1 mes previ.sav
	Conjunto de datos activo	ConjuntoDatos1
	Filtro	Aproximadamente 66% de los casos (SAMPLE)
	Ponderación	<ninguno>
	Segmentar archivo	<ninguno>
	N de filas en el archivo de datos de trabajo	304
Manejo de valores perdidos	Definición de perdidos	Los valores perdidos definidos por el usuario se tratan como perdidos.
Sintaxis	LOGISTIC REGRESSION VARIABLES Perdida_Suceso /METHOD=ENTER Insp_Rep_Alto Aplic_Bajo Aplic_Alto Frec_Anterior /CONTRAST (Aplic_Alto) =Indicator(1) /CONTRAST (Frec_Anterior)=Indicator (1) /CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10) ITERATE(20) CUT(.5).	
Recursos	Tiempo de procesador	00:00:00.00
	Tiempo transcurrido	00:00:00.02
<b>Resumen de procesamiento de casos</b>		
Casos sin ponderar <sup>a</sup>	N	Porcentaje
Casos seleccionados	Incluido en el análisis	304 100.0
	Casos perdidos	0 .0
	Total	304 100.0
Casos no seleccionados	0	.0
Total	304	100.0
a. Si la ponderación está en vigor, consulte la tabla de clasificación para el número total de casos.		

### Codificación de variable dependiente

Valor original	Valor interno
.00	0
1.00	1

### Codificaciones de variables categóricas

		Frecuencia	Codificación de parámetro (1)
Frec_Anterior	.00	226	.000
	1.00	78	1.000
Aplic_Alto	.00	183	.000
	1.00	121	1.000

### Bloque 0: Bloque de inicio

#### Tabla de clasificación<sup>a,b</sup>

Observado	Perdida_Suceso	Pronosticado		Porcentaje correcto
		.00	1.00	
Paso 0	Perdida_Suceso	.00	1.00	
		226	0	100.0
		78	0	.0
	Porcentaje global			74.3

a. La constante se incluye en el modelo.

b. El valor de corte es .500

### Variables en la ecuación

	B	Error estándar	Wald	gl	Sig.	Exp(B)	
Paso 0	Constante	-1.064	.131	65.625	1	<.001	.345

### Las variables no están en la ecuación

		Puntuación	gl	Sig.	
Paso 0	Variabes	Insp_Rep_Alto	33.866	1	<.001
		Aplic_Bajo	6.844	1	.009
		Aplic_Alto(1)	23.201	1	<.001
		Frec_Anterior(1)	39.821	1	<.001
	Estadísticos globales	68.260	4	<.001	

### Bloque 1: Método = Entrar

**Pruebas ómnibus de coeficientes de modelo**

		Chi-cuadrado	gl	Sig.
Paso 1	Paso	67.481	4	<.001
	Bloque	67.481	4	<.001
	Modelo	67.481	4	<.001

**Resumen del modelo**

Paso	Logaritmo de la verosimilitud -2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	278.744 <sup>a</sup>	.199	.293

a. La estimación ha terminado en el número de iteración 5 porque las estimaciones de parámetro han cambiado en menos de .001.

**Tabla de clasificación<sup>a</sup>**

Observado		Pronosticado		
		Perdida_Suceso .00	1.00	Porcentaje correcto
Paso 1	Perdida_Suceso .00	212	14	93.8
	1.00	42	36	46.2
Porcentaje global				81.6

a. El valor de corte es .500

**Variables en la ecuación**

		B	Error estándar	Wald	gl	Sig.	Exp(B)
Paso 1 <sup>a</sup>	Insp_Rep_Alto	1.122	.310	13.069	1	<.001	3.072
	Aplic_Bajo	-.018	.010	3.439	1	.064	.982
	Aplic_Alto(1)	.950	.312	9.276	1	.002	2.587
	Frec_Anterior(1)	1.157	.323	12.822	1	<.001	3.180
	Constante	-1.950	.299	42.571	1	<.001	.142

a. Variables especificadas en el paso 1: Insp\_Rep\_Alto, Aplic\_Bajo, Aplic\_Alto, Frec\_Anterior.

### ANEXO C. Modelado Predictivo de Sucesos con Severidad de Accidente Incapacitante a través de SPSS

Notas		
Salida creada		26-APR-2022 23:20:27
Comentarios		
Entrada	Datos	D: \TESIS\Regresión\Pruebas SPSS\Finales - Doble\Base de Datos 1 mes previ.sav
	Conjunto de datos activo	ConjuntoDatos1
	Filtro	Aproximadamente 66% de los casos (SAMPLE)
	Ponderación	<ninguno>
	Segmentar archivo	<ninguno>
	N de filas en el archivo de datos de trabajo	304
Manejo de valores perdidos	Definición de perdidos	Los valores perdidos definidos por el usuario se tratan como perdidos.
Sintaxis		LOGISTIC REGRESSION VARIABLES Perdida_AI /METHOD=ENTER Insp_Rep_Medio Insp_Rep_Alto Sev_Anterior Aplic_Alto /CONTRAST (Insp_Rep_Alto)=Indicator (1) /CONTRAST (Aplic_Alto) =Indicator(1) /SAVE=PRED PGROUP /CRITERIA=PIN(0.05) POUT(0.10) ITERATE(20) CUT(0.5).
Recursos	Tiempo de procesador	00:00:00.02
	Tiempo transcurrido	00:00:00.02
Variables creadas o modificadas	PRE_3	Probabilidad pronosticada
	PGR_3	Grupo pronosticado



**Resumen de procesamiento de casos**

Casos sin ponderar <sup>a</sup>		N	Porcentaje
Casos seleccionados	Incluido en el análisis	304	100.0
	Casos perdidos	0	.0
	Total	304	100.0
Casos no seleccionados		0	.0
Total		304	100.0

a. Si la ponderación está en vigor, consulte la tabla de clasificación para el número total de casos.

**Codificación de variable dependiente**

Valor original	Valor interno
.00	0
1.00	1

**Codificaciones de variables categóricas**

		Frecuencia	Codificación de parámetro (1)
Aplic_Alto	.00	183	.000
	1.00	121	1.000
Insp_Rep_Alto	.00	215	.000
	1.00	89	1.000

**Bloque 0: Bloque de inicio****Tabla de clasificación<sup>a,b</sup>**

		Pronosticado		Porcentaje correcto
		Perdida_AI		
Observado	Perdida_AI	.00	1.00	
Paso 0	.00	243	0	100.0
	1.00	61	0	.0
Porcentaje global				79.9

a. La constante se incluye en el modelo.

b. El valor de corte es .500

**Variables en la ecuación**

		B	Error estándar	Wald	gl	Sig.	Exp(B)
Paso 0	Constante	-1.382	.143	93.153	1	<.001	.251

**Las variables no están en la ecuación**

			Puntuación	gl	Sig.
Paso 0	Variables	Insp_Rep_Medio	55.304	1	<.001
		Insp_Rep_Alto(1)	40.183	1	<.001
		Sev_Anterior	29.607	1	<.001
		Aplic_Alto(1)	21.153	1	<.001
	Estadísticos globales		74.563	4	<.001

**Bloque 1: Método = Entrar****Pruebas ómnibus de coeficientes de modelo**

		Chi-cuadrado	gl	Sig.
Paso 1	Paso	67.103	4	<.001
	Bloque	67.103	4	<.001
	Modelo	67.103	4	<.001

**Resumen del modelo**

Paso	Logaritmo de la verosimilitud -2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	237.695 <sup>a</sup>	.198	.313

a. La estimación ha terminado en el número de iteración 5 porque las estimaciones de parámetro han cambiado en menos de .001.

**Tabla de clasificación<sup>a</sup>**

	Observado	Pronosticado		Porcentaje correcto
		Perdida_AI .00	1.00	
Paso 1	Perdida_AI	.00	1.00	
		233	10	95.9
		38	23	37.7
	Porcentaje global			84.2

a. El valor de corte es .500

**Variables en la ecuación**

		B	Error estándar	Wald	gl	Sig.	Exp(B)
Paso 1 <sup>a</sup>	Insp_Rep_Medio	.057	.021	7.069	1	.008	1.059
	Insp_Rep_Alto(1)	1.164	.363	10.291	1	.001	3.201
	Sev_Anterior	.321	.158	4.142	1	.042	1.379
	Aplic_Alto(1)	.612	.352	3.013	1	.083	1.843
	Constante	-2.856	.291	96.237	1	<.001	.058

a. Variables especificadas en el paso 1: Insp\_Rep\_Medio, Insp\_Rep\_Alto, Sev\_Anterior, Aplic\_Alto.