



# **Serie Proyectos de Investigación e Innovación**

Superintendencia de Seguridad Social  
Santiago - Chile

## **INFORME FINAL**

**Factibilidad de un sistema de recomendaciones para definir las actividades de prevención  
con mayor eficacia en cada empresa usando machine learning**

Richard Weber  
2022





## **SUPERINTENDENCIA DE SEGURIDAD SOCIAL**

### **SUPERINTENDENCE OF SOCIAL SECURITY**

La serie Proyectos de Investigación e Innovación corresponde a una línea de publicaciones de la Superintendencia de Seguridad Social, que tiene por objetivo divulgar los trabajos de investigación e innovación en Prevención de Accidentes y Enfermedades del Trabajo financiados por los recursos del Seguro Social de la Ley 16.744.

Los trabajos aquí publicados son los informes finales y están disponibles para su conocimiento y uso. Los contenidos, análisis y conclusiones expresados son de exclusiva responsabilidad de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente la opinión de la Superintendencia de Seguridad Social.

Si requiere de mayor información, sobre el estudio o proyecto escriba a: [investigaciones@suseso.cl](mailto:investigaciones@suseso.cl).

Si desea conocer otras publicaciones, artículos de investigación y proyectos de la Superintendencia de Seguridad Social, visite nuestro sitio web: [www.suseso.cl](http://www.suseso.cl).

The Research and Innovation Projects series corresponds to a line of publications of the Superintendence of Social Security, which aims to disseminate the research and innovation work in the Prevention of Occupational Accidents and Illnesses financed by the resources of Law Insurance 16,744.

The papers published here are the final reports and are available for your knowledge and use. The content, analysis and conclusions are solely the responsibility of the author (s), and do not necessarily reflect the opinion of the Superintendence of Social Security.

For further information, please write to: [investigaciones@suseso.cl](mailto:investigaciones@suseso.cl).

For other publications, research papers and projects of the Superintendence of Social Security, please visit our website: [www.suseso.cl](http://www.suseso.cl).

Superintendencia de Seguridad Social  
Huérfanos 1376  
Santiago, Chile.



**DIRECTOR ACADÉMICO**

Pablo González

**DIRECTOR EJECUTIVO**

Carlos Castro

**INVESTIGADOR PRINCIPAL**

Richard Weber

**INVESTIGADOR ALTERNO**

Sebastián Santana

**EQUIPO**

Daniel Schwartz

Andrés Garrido

Tomás Alegría

**CONTRAPARTE INSTITUCIONAL**

Sandra Herrera

Jefa de Proyectos

Rodrigo Castillo

Jefe Proyectos de Innovación

Las opiniones expresadas en el presente documento no representan necesariamente la posición de la Contraparte Institucional.

Este trabajo fue seleccionado en la Convocatoria de Proyectos de Investigación e Innovación en Prevención de Accidentes y Enfermedades Profesionales 2021 de la Superintendencia de Seguridad Social (Chile), y fue financiado por la Asociación Chilena de Seguridad con recursos del Seguro Social de la Ley N°16.744 de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales.

Este documento corresponde al informe final del proyecto 266-2021.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1.</b>	Introducción.....	5
<b>2.</b>	Antecedentes y Motivación .....	6
<b>3.</b>	Objetivos.....	7
<b>4.</b>	Metodología.....	8
4.1.	Etapa 1: Comprensión del Problema y de los Datos .....	8
4.2.	Etapa 2: Modelamiento y Análisis de Datos.....	9
4.3.	Etapa 3: Evaluación General de la Factibilidad del Sistema .....	9
<b>5.</b>	Alcances y Condiciones necesarias para el Desarrollo Del Proyecto .....	10
<b>6.</b>	Revisión Bibliográfica.....	11
<b>7.</b>	Análisis Exploratorio de Datos.....	13
7.1.	Análisis Actividades.....	13
7.2.	Análisis Accidentes.....	16
<b>8.</b>	Análisis usando Métodos Estadísticos y de Machine Learning.....	19
8.1.	Resumen de Variables relevantes para los Modelos .....	19
8.2.	Metodología .....	24
8.3.	Resultados .....	26
<b>9.</b>	Propuesta de un Sistema de Recomendaciones Óptimas.....	44
9.1.	Comentario General del Sistema .....	44
9.2.	Condiciones mínimas y Recomendación para el Sistema .....	45
<b>10.</b>	Conclusiones .....	49
<b>11.</b>	Referencias.....	50
<b>12.</b>	Anexos .....	51

### *Índice de Ecuaciones*

Ecuación 1: Modelo Lineal.....	26
Ecuación 2: Modelo de Poisson .....	29
Ecuación 3: Modelo de minimización de tasa de accidentes .....	47

## Índices de Figuras

Figura 1: Etapas del proyecto .....	8
Figura 2: Etapas para la asignación de actividades a Expertos.....	9
Figura 3: Actividades realizadas desde junio 2019 a diciembre 2021 .....	13
Figura 4: Actividades por tamaño de empresa .....	14
Figura 5 : Actividades por mes.....	14
Figura 6: Modo de las actividades.....	15
Figura 7: Tipo de asignación .....	15
Figura 8: Actividades por tipo de actividad.....	16
Figura 9: Frecuencia de tipos de siniestro por tipo (2019 – 2021).....	16
Figura 10: Edad de los trabajadores accidentados (2019 – 2021) .....	17
Figura 11: Porcentaje de hombres y mujeres que se accidentan por industria (2019 – 2021).....	17
Figura 12: Número de hombres y mujeres que se accidentan por industria (2019 – 2021).....	18
Figura 13: Boxplot días perdidos por tipo de siniestro (2019 – 2021) .....	18
Figura 14: Distribución del número de accidentes en los últimos 12 meses por empresa (2019 – 2021).....	19
Figura 15: Distribución de la masa promedio (tamaño) en los últimos 12 meses por empresa (2019 – 2021)	20
Figura 16: Distribución de N° de act. realizadas (visitas) en los últimos 12 meses por empresa (2019 – 2021)	20
Figura 17: Distribución del N.º de empresas desde junio 2019 a diciembre 2021. ....	21
Figura 18: Distribución de visitas por sector económico desde junio 2019 a diciembre 2021 .....	21
Figura 19: Distribución del N.º de empresas (izquierda) y .....	22
Figura 20: Distribución de cambios en el equipo de expertos por tamaño de empresa.....	23
Figura 21: Edad promedio de expertos por industria .....	23
Figura 22: Diferencia de accidentes entre 2021 y 2020 por industria .....	24
Figura 23: Variación cantidad de accidentes para empresas grandes considerando todas las actividades.....	31
Figura 24: Variación cantidad de accidentes para empresas medianas considerando todas las actividades ...	32
Figura 25: Variación cant. de accidentes para empresas grandes considerando sólo actividades de expertos	33
Figura 26: Variación cant. de accidentes para empresas medianas considerando sólo act. de expertos.....	34
Figura 27: Cantidad de actividades de asesoría (AS) para empresas grandes .....	35
Figura 28: Cantidad de actividades de asesoría (AS) para empresas medianas.....	36
Figura 29: Cantidad de actividades de gestión táctica preventiva (GTP) para empresas grandes .....	37
Figura 30: Cantidad de actividades de gestión táctica preventiva (GTP) para empresas medianas .....	38
Figura 31: Cantidad de actividades de higiene y ergonomía (HE) para empresas grandes.....	39
Figura 32: Cantidad de actividades de higiene y ergonomía (HE) para empresas medianas .....	40
Figura 33: Cantidad de actividades de campañas (CP) para empresas grandes .....	41
Figura 34: Cantidad de actividades de campañas (CP) para empresas medianas.....	42
Figura 35: Esquema de etapas de implementación de sistema de asignación .....	48

## Índice de Tablas

Tabla 1: Promedios y tasas de accidentes y visitas por tamaño de empresa.....	22
Tabla 2: Ejemplo de las observaciones utilizadas para el modelamiento .....	24
Tabla 3: Código y descripción para los grupos de actividades .....	25
Tabla 4: Regresión sobre la diferencia en accidentes de trabajo entre los años 2021-2020 ( $\Delta AT$ ) .....	27
Tabla 5: Regresión de Poisson para la cantidad de actividades realizadas el 2021 según tipo de actividad.....	29
Tabla 6: Reg. de Poisson para la cant. de act. realizadas el 2021 según tipo de act. y tamaño de empresa ....	30

## Siglas

ACHS	Asociación Chilena de Seguridad
AED	Análisis Exploratorio de Datos
AS	Actividades de Asistencia
DT	Dirección del Trabajo
ELE-5	Encuesta Longitudinal de Empresas (Quinta versión)
IMC	Índice de Masa Corporal
ILS	Instituto de Seguridad Laboral
ISM	Sistema de Gestión Integrado (En inglés)
LGF	Lesiones Graves y Fatales
RALF	Registro de Accidentes Laborales Fatales
RGA	Reunión de gestión de accidentes
SUSESO	Subsecretaría de Seguridad Social

\*\*\*Otras siglas de los análisis se encuentran detalladas al interior del informe, como tipo de actividades y grupos de actividades.

## 1. INTRODUCCIÓN

Este informe es el producto final del proyecto “ACHS 266-2021: Factibilidad de un sistema de recomendaciones para definir las actividades de prevención con mayor eficacia en cada empresa usando *machine learning*” de la convocatoria de Proyectos de Investigación e Innovación en Prevención de Accidentes y Enfermedades Profesionales 2021 de la SUSESO (Chile). En este informe, se incluye el análisis descriptivo, el análisis estadístico y de *machine learning*, y las recomendaciones finales con respecto a la factibilidad del sistema.

El capítulo 2 detalla los antecedentes y motivación, el capítulo 3 presenta los objetivos del proyecto, y en el capítulo 4 se explica la metodología empleada en el desarrollo de este. El capítulo 5 presenta alcances y condiciones para el proyecto, destacando los cambios que hubo tempranamente en el proyecto, dada la información que se logró recopilar. El capítulo 6 muestra una revisión de la literatura relevante. En el capítulo 7 se presenta un análisis descriptivo de los datos, destacando patrones y hallazgos en los datos que han sido dispuestos por ACHS. En el capítulo 8 se presentan los resultados del análisis utilizando tanto modelos de regresión para cuantificar relaciones entre las actividades y los accidentes, como árboles de regresión. En el capítulo 9 se plantean las condiciones de factibilidad para el sistema y se establecen las recomendaciones finales del estudio. Finalmente se presentan las conclusiones en el capítulo 10. Además, se adjunta una sección de anexos.

## 2. ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN

Según las disposiciones del artículo 19 del Reglamento General de la ley N° 16.744<sup>1</sup>, para el año 2019 el “Instituto de Seguridad Laboral y las Mutualidades de Empleadores deberán destinar para la prevención de riesgos de accidentes del trabajo y enfermedades profesionales de los trabajadores de sus empresas adheridas o afiliadas, a lo menos, un 15% de sus ingresos totales”. Solo durante el año 2019, ISL y las Mutualidades gastaron al menos US\$185 millones en actividades de prevención de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales, entre las que se encuentran las asesorías tácticas que despliegan las mutualidades, en las empresas con la finalidad de mejorar la salud y seguridad ocupacional de los trabajadores.

Por otro lado, las intervenciones de prevención de accidentes son un pilar fundamental para la disminución de la accidentabilidad laboral. Este es un tema de gran relevancia, puesto que las organizaciones cuentan con un presupuesto limitado para realizar este tipo de intervenciones. Así, identificar la efectividad de cada una permitiría aumentar su eficacia general y tomar acción correctiva con respecto a las intervenciones que no tienen el efecto esperado.

Junto a lo anterior, para decidir qué empresas intervenir y qué actividad realizar, cada organismo administrador se basa en sus propios criterios organizacionales, complementados por la normativa vigente. Dentro de los criterios utilizados, generalmente está el nivel de riesgo que se estima para la empresa, la ocurrencia de accidentes de mayor gravedad, conocimiento histórico de la industria, efectos estacionales, y protocolos internos de cada organismo. De esta forma, a partir de tecnologías y técnicas de procesamiento de datos se presenta la oportunidad de desarrollar sistemas de información que permitan utilizar y analizar la información que se genera a partir de la labor preventiva de las Mutualidades. Con esto, el presente proyecto propone abarcar esa oportunidad, a partir de herramientas estadísticas y de aprendizaje de máquinas (*machine learning*). El objetivo de lo anterior es examinar y determinar la factibilidad de desarrollo de un sistema, a través del establecimiento de condiciones mínimas, que permita optimizar las actividades que se realizan en las empresas. Así, se espera avanzar en la sistematización de los criterios expertos usados por los organismos administradores para determinar las actividades de prevención, incorporando herramientas de predicción en salud y seguridad ocupacional (Sarkar, Vinay, Raj, Maiti, & Mitra, 2019).

---

<sup>1</sup> Ley de Protección Frente a un accidente o enfermedad profesional

### 3. OBJETIVOS

A continuación, se presenta el objetivo general del proyecto y luego los objetivos específicos del mismo.

#### 3.1. OBJETIVO GENERAL

---

Evaluar la factibilidad de desarrollar un sistema de recomendaciones para seleccionar las actividades preventivas de mayor efectividad.

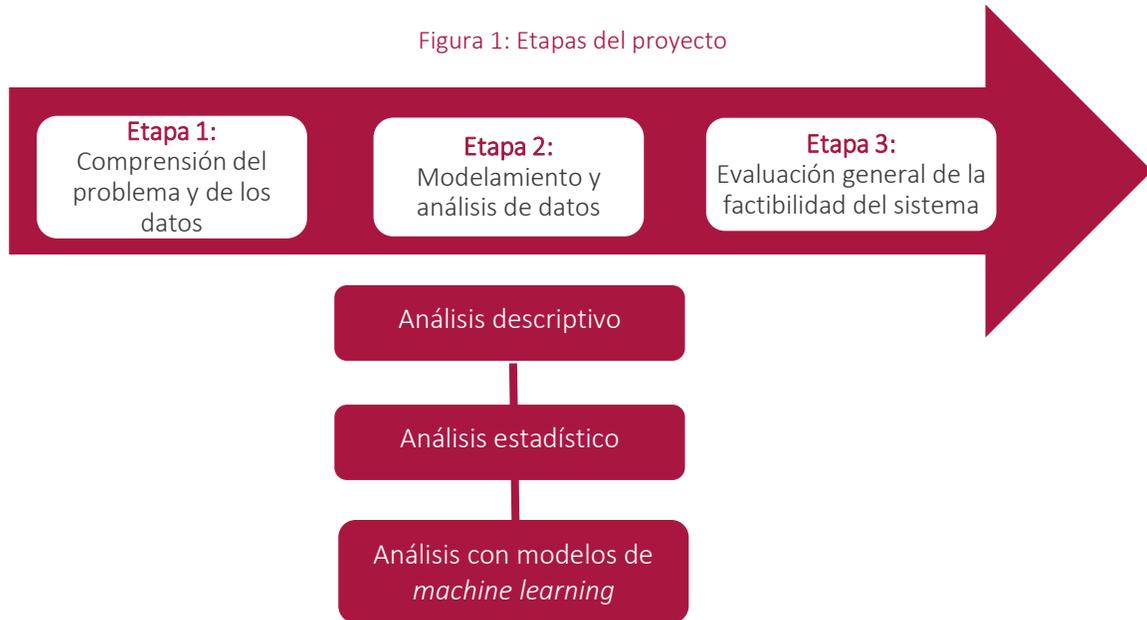
#### 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

---

1. Utilizar algoritmos de *machine learning* para entrenar un modelo que permita escoger la actividad preventiva de mayor impacto en una empresa, basándose en actividades históricas realizadas y sus efectos en las tasas de accidentabilidad y siniestralidad.
2. Testear la efectividad de las recomendaciones entregadas por el modelo.
3. Entender y plantear las condiciones mínimas de un sistema de recomendación en base a los resultados obtenidos.

## 4. METODOLOGÍA

A continuación, se presenta la metodología de trabajo. Esta se aplica a lo largo de tres etapas, presentadas en la Figura 1.



Fuente: Elaboración propia en base a la metodología.

### 4.1. ETAPA 1: COMPRENSIÓN DEL PROBLEMA Y DE LOS DATOS

Esta etapa tiene por objetivo el levantamiento de información relativa a la planificación de actividades en la ACHS, mediante reuniones con actores claves y uso de registros de actividades preventivas en las empresas clientes de la Asociación. En particular, se realizaron las siguientes actividades:

#### Reunión de levantamiento inicial

En esta actividad se reúne el equipo del proyecto con la contraparte de la ACHS, con el objetivo, en primer lugar, de delimitar los alcances del proyecto, para luego realizar la primera solicitud de información proveniente de las bases de datos de la Asociación. Con esto, se envía un requerimiento de información sobre:

- Relatos de siniestros (qué y cómo sucedió) entre 2019 y 2021.
- Actividades realizadas por expertos en sucursales entre 2019 y 2021.
- Características de la empresa (masa, comuna, rubro).
- Antigüedad en la ACHS y fecha de nacimiento de experto en actividades.
- Matriz de actividades que un experto puede realizar.

De esta forma, se genera la información descrita en el **Anexo 1**, que muestra el nombre del campo en la base de datos y la definición de este. A partir de la información facilitada por ACHS, se muestra el proceso de planificación mensual en la Figura 2.

Figura 2: Etapas para la asignación de actividades a Expertos



Fuente: ACHS.

Se realiza un análisis exploratorio de datos, basado en la información mencionada anteriormente y detallada en el **Anexo 1**, y un análisis descriptivo para contar con estadísticas básicas referidas al proceso de planificación: tipos de expertos asignados, tipos de actividades asignadas, y rubros con mayor cantidad de actividades, entre otras.

## 4.2. ETAPA 2: MODELAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

En esta etapa se construyen modelos estadísticos y de aprendizaje de máquinas para predecir y examinar qué actividades se relacionan con menores tasas de accidentabilidad. Luego de consensuar los métodos de análisis con el equipo de la Asociación, se examinan los predictores de las principales actividades programadas por los/as expertos/as en prevención, incorporando información geográfica, por industria, y características asociadas a los/as expertos/as.

## 4.3. ETAPA 3: EVALUACIÓN GENERAL DE LA FACTIBILIDAD DEL SISTEMA

Finalmente, tras la realización de los análisis cuantitativos sobre los modelos propuestos, se definen las condiciones mínimas para la factibilidad del sistema de recomendaciones, con el objetivo de mejorar el proceso de asignación de actividades realizadas por expertas/os.

## 5. ALCANCES Y CONDICIONES NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

El resultado esperado del proyecto en un inicio era una prueba de concepto de un sistema de recomendaciones que permitiera replicar de forma automática el trabajo de Expertos en Seguridad Laboral. En las primeras etapas del proyecto se detecta que existe mayoritariamente una asignación determinística de actividades en un periodo  $t$  a una empresa  $i$ , lo cual imposibilita tener un sistema relevante que prediga actividades. Por lo tanto, en acuerdo con la ACHS, este trabajo se focaliza en el análisis del efecto (correlacional) de cada tipo de actividad en accidentes de trabajo, de manera de poder evaluar, vía una prueba de concepto, la factibilidad de un sistema que priorice actividades.

Con respecto a los datos disponibles, se cuenta con información agregada de actividades en cada empresa y de accidentes en un período móvil de 12 meses.

## 6. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Un estudio de gran relevancia para la literatura de seguridad ocupacional es el trabajo de Beus, McCord, & Zohar (2016). Los autores proponen una integración de los resultados empíricos de esta literatura para mejorar la comprensión de lo que actualmente se conoce sobre la seguridad en el trabajo. En particular, los autores proponen una definición formal de seguridad en el trabajo, consistente en “un atributo de los sistemas de trabajo que refleja la baja probabilidad de ocurrencia de daño físico – ya sea inmediato o diferido – a las personas, la propiedad o el medio ambiente durante el desempeño del trabajo” (p. 2), aunque se enfocan en la seguridad de las personas (excluyendo la propiedad y el ambiente). En específico, limitan la seguridad laboral a la probabilidad de “daño físico no intencionado a las personas” (p. 3).

Una de las principales características de esta definición es que clarifica el rol de la accidentabilidad como indicador de ausencia de seguridad, pero estableciendo que una baja accidentabilidad no implica necesariamente la presencia de seguridad. En palabras de los autores: “los accidentes en el trabajo son indicadores deficientes de la seguridad en el trabajo porque solo indican la ausencia, no la presencia, de seguridad” (p. 3). Por otro lado, proponen que los comportamientos seguros son mucho más precisos como indicadores de seguridad en el trabajo. Los autores definen estos comportamientos como cualquier comportamiento que disminuya la probabilidad de daño físico a las personas. Para estos autores, los comportamientos seguros son indicadores muy relevantes porque permiten detectar la ausencia de seguridad antes de que un accidente ocurra. Por el otro lado, un accidente es un indicador “retrasado” de la falta de seguridad.

En suma, en este trabajo se relevan los comportamientos seguros pues representan mejor la seguridad laboral como constructo y permiten diagnosticar una falta de seguridad antes de que el daño real ocurra. Posteriormente, estos autores proponen un Modelo Integrado de Seguridad (ISM, por sus siglas en inglés) basado en los diferentes marcos teóricos sobre la seguridad en el trabajo. Luego, realizan una revisión sistemática de la literatura para comparar los resultados empíricos existentes con el ISM que proponen. A continuación, se presentan los principales hallazgos:

1. Se requiere investigación que considere un rango más amplio de diferencias individuales (personalidad, habilidad física y cognitiva, conocimientos sobre seguridad, motivación por la seguridad) y su relación con la seguridad. También es necesario avanzar en determinar la importancia relativa de estos elementos.
2. Es necesario explorar los efectos interactivos entre los factores individuales y contextuales, y determinar las condiciones de borde de estas interacciones. Por ejemplo: ¿Hasta qué punto los efectos negativos de las características personales pueden ser atenuados por climas positivos de seguridad o liderazgo transformacional?
3. Las prácticas que refuerzan comportamientos seguros en las organizaciones tienen un efecto positivo. Sin embargo, este efecto se puede disipar rápidamente cuando el refuerzo desaparece. Pese a estos resultados, se necesita más investigación que tome una perspectiva temporal con respecto a la duración de tiempo en que estas prácticas organizacionales mantienen su eficacia.

4. Los comportamientos seguros individuales y grupales en el trabajo se asocian (de forma relativamente débil) con menos accidentes en el trabajo. La magnitud relativamente moderada de esta asociación se explica por varias razones:
  - a. Los accidentes de trabajo están influenciados por factores que van más allá del comportamiento de los trabajadores.
  - b. Los accidentes se reportan imperfectamente, pues hay una tendencia a sub reportar.
  - c. Las formas de medir el comportamiento seguro actualmente pueden ser incompletas o deficientes. Es probable que estas medidas no capturen el rango completo de los comportamientos seguros.
  - d. Los comportamientos seguros se evalúan generalmente luego de que ocurren los accidentes. Esto presume que la ocurrencia de accidentes no influencia el comportamiento posterior, lo cual podría no ser correcto. Es necesario examinar asociaciones con información sobre comportamientos seguros antes de los accidentes.
5. Las organizaciones aprenden de la ocurrencia de accidentes (las tasas de accidentes descienden luego de un accidente).
6. Se requiere expandir la teoría de seguridad en el trabajo para explicar por qué los individuos, grupos y organizaciones escogen involucrarse (o no hacerlo) en ciertos comportamientos seguros.

En cuanto a la literatura sobre seguridad ocupacional realizada en Chile, (Gray-Gariazzo, Vives, González, & Molina, 2018) destacan que la edad es una variable relevante en comportamiento seguros, pues “trabajadores más viejos tienen un mejor desempeño en materia de seguridad, con menores niveles de accidentabilidad, pero se encuentran en mayor riesgo de sufrir accidentes fatales y tardan más tiempo en recuperarse de incidentes”. Hofmann, Burke, & Zohar (2017) por su parte, señalan que la edad sería un elemento que incide principalmente en la aparición de enfermedades profesionales, las que serían más comunes entre los trabajadores con mayor edad (sobre 45 años) que entre los con menor edad. Estos autores utilizan datos administrativos con una muestra de 42.221 trabajadores para identificar el vínculo entre el estilo de vida de los trabajadores con la ocurrencia de accidentes laborales, enfermedades profesionales y ausentismo laboral, encontrando que “Fumar daña seriamente la salud y predice la discapacidad, la jubilación anticipada y las licencias por enfermedad”. Además, encuentran que la edad no sería un factor relevante en la probabilidad de ocurrencia de un accidente laboral, y que los trabajadores con obesidad mórbida (según su IMC o índice de masa corporal) tienen una tasa de accidentabilidad significativamente mayor que los trabajadores con IMC normal.

Salazar, Frenz, Valdivia, & Hurtado (2013) estudiaron las competencias con las que deben contar los gestores en salud y seguridad ocupacional para aumentar su efectividad. Estos investigadores señalan la relevancia de la formación en prevención a través de habilidades transversales, como el liderazgo, la proactividad y el trabajo en equipo, y no únicamente a través del desarrollo de contenidos técnicos relativos a la prevención. En este sentido, las habilidades transversales ayudarían a formar una “cultura de la prevención” en la organización.

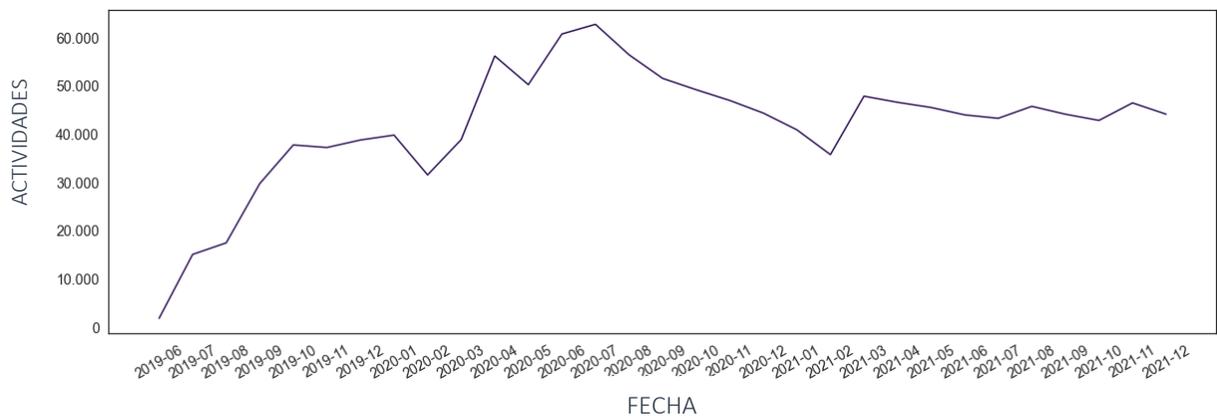
## 7. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS

A continuación, se presenta un análisis exploratorio de datos (AED) de las intervenciones realizadas en empresas, o “actividades”, comprendiendo el periodo junio de 2019 a diciembre de 2021.

### 7.1. ANÁLISIS ACTIVIDADES

Entre el 1 de junio del 2019 y el 31 de diciembre del 2021 la ACHS desplegó 1.292.435 actividades a lo largo de Chile. En la Figura 3 se muestra el número de actividades que se han realizado por mes, en donde existe una ligera disminución en el número de actividades en enero del 2020 y enero del 2021, lo que coincide con la fecha en la que la mayoría de los trabajadores y expertos se encuentran de vacaciones.

Figura 3: Actividades realizadas desde junio 2019 a diciembre 2021



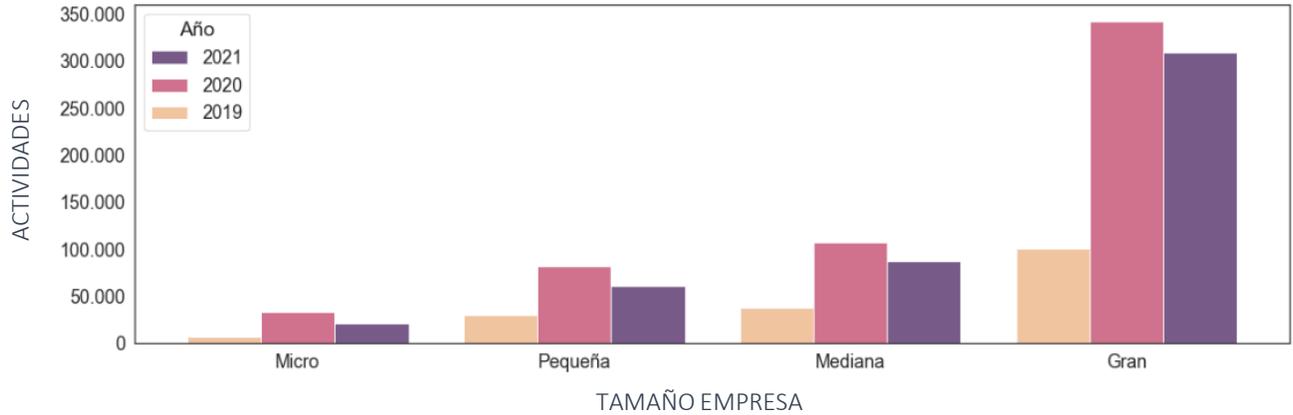
Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

Para efectos de categorizar a las empresas por su tamaño, de acuerdo con la Ley 20.416<sup>2</sup>, se adopta la siguiente taxonomía: empresas con 9 o menos trabajadores se clasifican como microempresas, empresas con 10 hasta 49 trabajadores se clasifican como empresas pequeñas, empresas con más de 50 trabajadores y menos de 200 se clasifican como empresas medianas, y empresas con 200 o más trabajadores se clasifican como grandes empresas.

La Figura 4 presenta el número de actividades por tamaño de empresa. La mayor cantidad de actividades se realiza en las empresas grandes debido a que son estas las que emplean más trabajadores. El menor número de actividades en el año 2019 responde a que solamente se presentan las intervenciones realizadas desde junio de ese año.

<sup>2</sup> Fija normas especiales para las empresas de menor tamaño

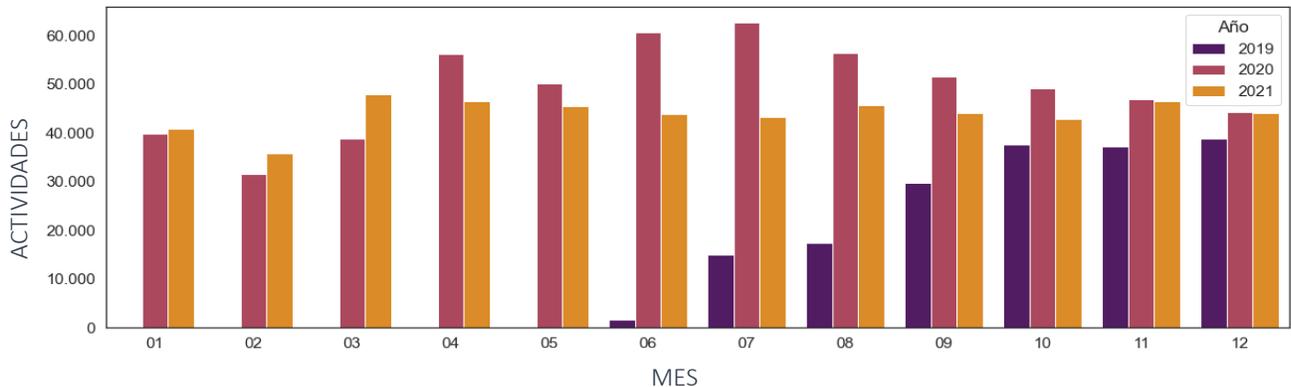
Figura 4: Actividades por tamaño de empresa



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

En la Figura 5 se presenta la distribución de actividades por mes, en donde se aprecia un leve aumento del número de actividades en junio del 2020 respecto al resto del año, así como una disminución de las actividades en enero y febrero del 2020 y 2021, lo cual es coincidente con los meses de vacaciones donde tanto expertos como trabajadores pueden estar ausentes de sus trabajos. El aumento de actividades en el 2019 se debe a la menor disponibilidad de datos al comienzo de la serie, por lo cual no se incluye este año en los análisis posteriores.

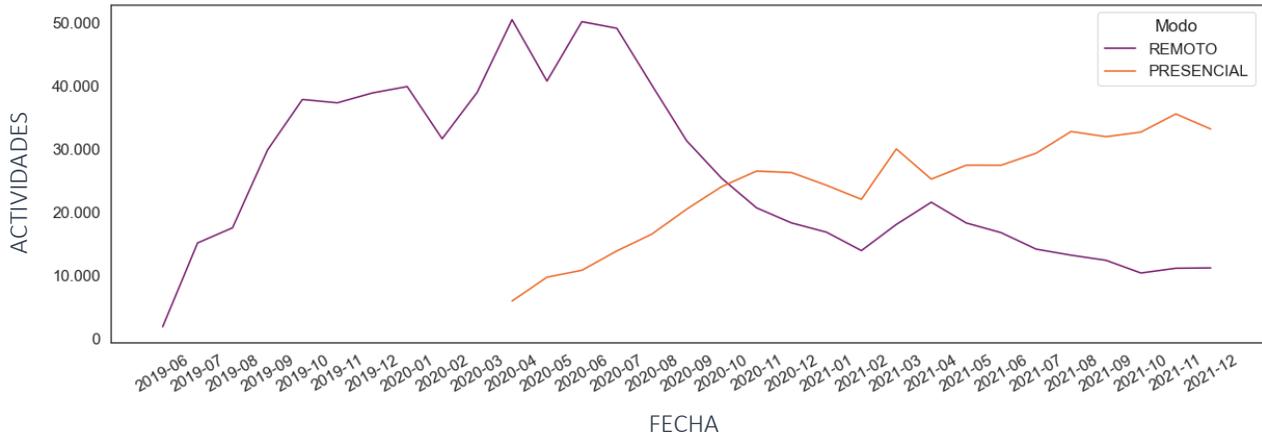
Figura 5 : Actividades por mes



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

En la Figura 6 se observa el número de actividades según su modo (remoto o presencial). Es posible apreciar que conforme los trabajadores fueron retomando la presencialidad en sus lugares de trabajo, las actividades presenciales aumentaron y las remotas disminuyeron.

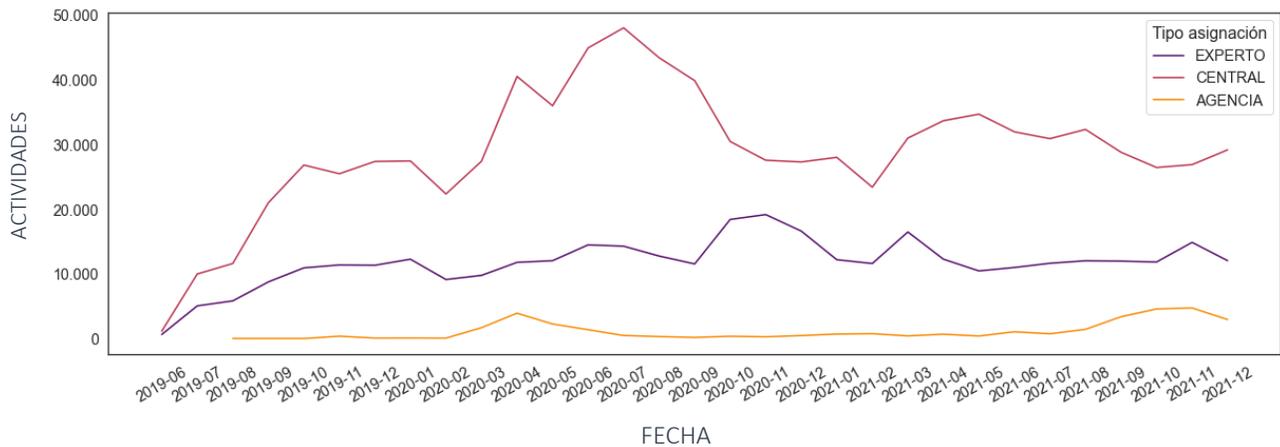
Figura 6: Modo de las actividades



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

La Figura 7 muestra el tipo de asignación por el cual se realiza una actividad. Las asignaciones pueden ser a nivel central, es decir, definidos por ACHS de acuerdo con reglas determinísticas, y a nivel de expertos, quienes definen los criterios para el desarrollo de las actividades, tanto en su tipo como en la empresa en las que se realizan. Finalmente, las asignaciones por agencia corresponden a una medida implementada en pandemia, en la cual se les entrega a las agencias la autonomía para planificar sus actividades (este último tipo de asignación ya no se encuentra vigente). En los datos se observa que cerca del 70% de las actividades han sido planificadas de forma central.

Figura 7: Tipo de asignación

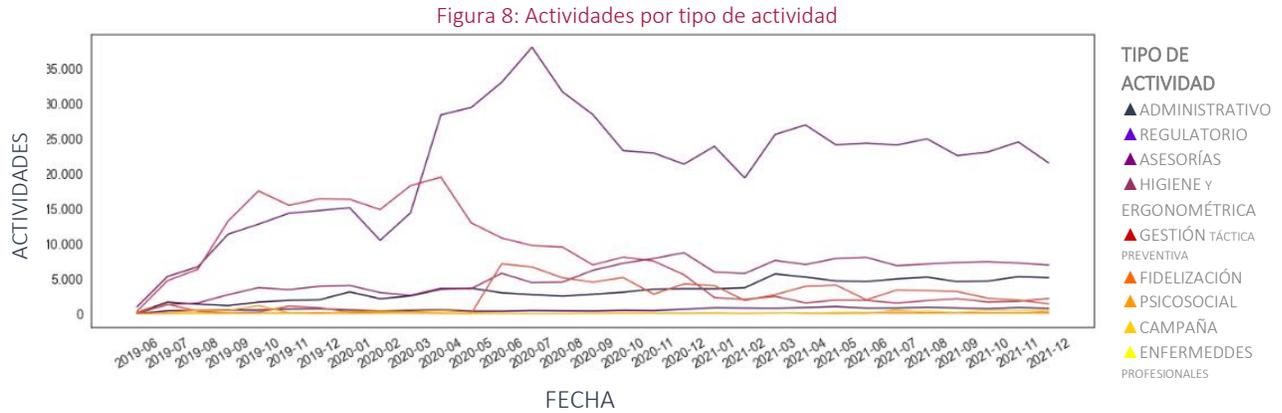


Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

En la Figura 8 se grafica el número de actividades según el tipo de actividad<sup>3</sup>. Tras la validación de los niveles de agregación de actividades con el equipo de planificación de ACHS, fue posible constatar que la principal

<sup>3</sup> Actividades en orden de la figura: Administrativo (ACT\_ADMIN), Regulatorio (ACT\_RG), Asesorías (ACT\_AS), Higiene y Ergonométrica (ACT\_HE), Gestión táctica preventiva (ACT\_GTP), Fidelización (ACT\_OT), Psicosocial (ACT\_PS), Campaña (ACT\_CP) y Enfermedades Profesionales (ACT\_EP).

agrupación de interés para las actividades son los lineamientos, que corresponde a la agrupación mediante la cual se planifican y priorizan las actividades.

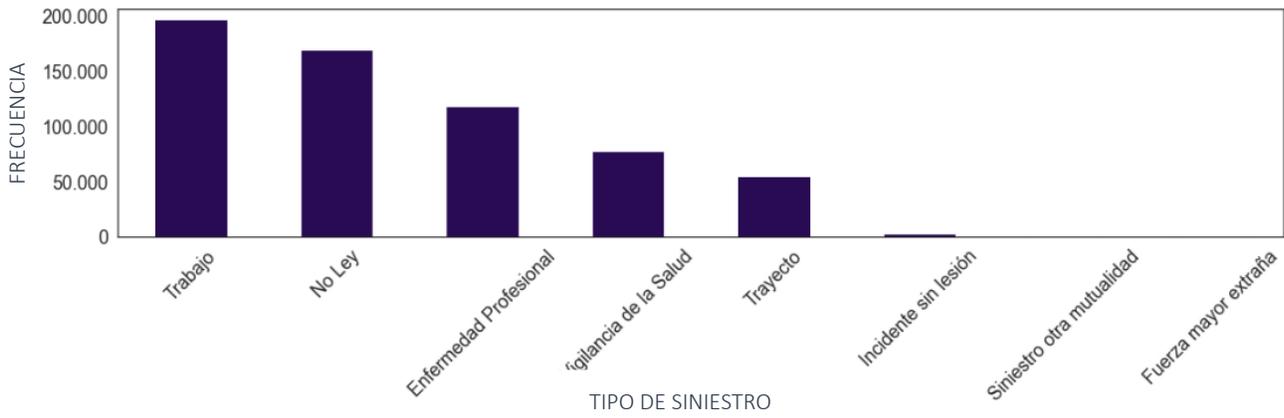


Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

## 7.2. ANÁLISIS ACCIDENTES

En la Figura 9 se observa la clasificación del tipo de accidente. La mayoría de los accidentes corresponde a accidentes cubiertos por ley (“Trabajo”), accidentes no cubiertos por ley (“No Ley”) y enfermedades profesionales. Para efectos de este trabajo, se focaliza en accidentes cubiertos por ley, excluyendo enfermedades profesionales y accidentes no cubiertos (“No Ley”).

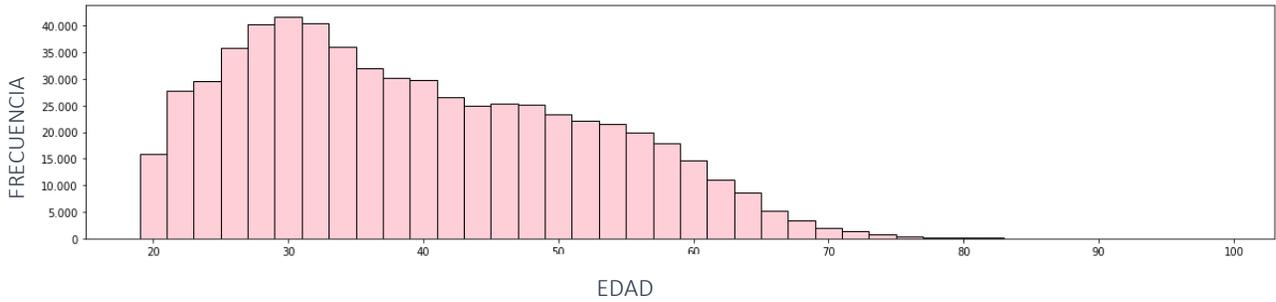
Figura 9: Frecuencia de tipos de siniestro por tipo (2019 – 2021).



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

La Figura 10 muestra la distribución de la edad de las personas cuando se accidentaron, donde se aprecia que el grueso de los trabajadores que se accidentan está entre los 25 y 40 años (cabe notar que, según el Instituto Nacional de Estadísticas, el número de trabajadores es similar en los rangos 25-39 años y 40-54 años). El menor número de personas que se accidentan en la parte derecha de la distribución se debe al menor número de trabajadores activos en el rango etario posterior a los 55 años.

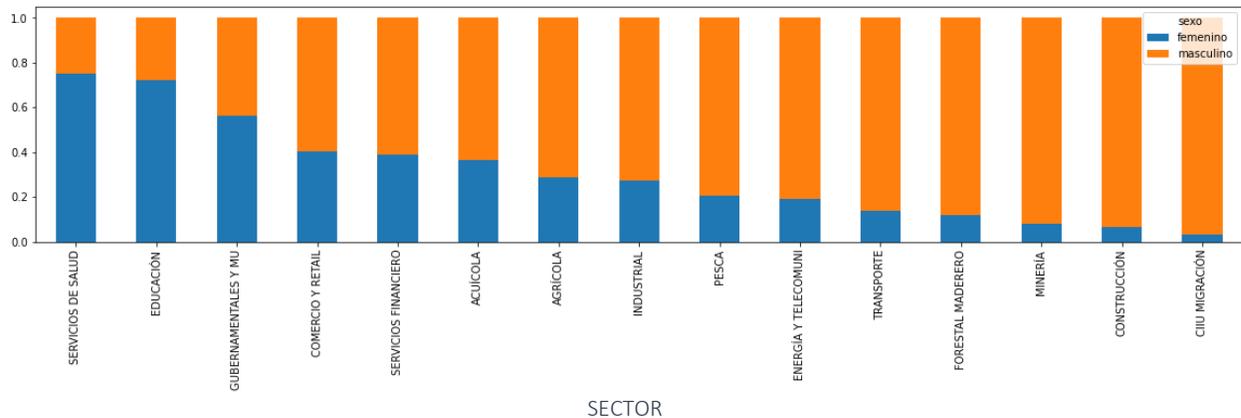
Figura 10: Edad de los trabajadores accidentados (2019 – 2021)



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

Figura 11 hace referencia a la proporción de los accidentados según sexo para cada industria (o sector económico). En la Figura 12 se muestra esta información con el número total de accidentes. En estas figuras se puede observar que existen diferencias importantes en la proporción de hombres y mujeres que se accidentan según la industria donde trabajan, siendo el sector de salud donde más mujeres se accidentan (proporcionalmente) y en la construcción el sector donde (proporcionalmente) más hombres se accidentan, lo cual puede estar explicado por la composición de estas industrias en cuanto a sexo. Si se mira el número absoluto, es en “comercio y retail” donde más trabajadoras y trabajadores se accidentan. Cabe notar que, en Chile, 2 de cada 5 trabajadores son mujeres, aunque la composición es heterogénea para distintas industrias (por ejemplo, en educación y en construcción, 51% y 12% de trabajadores son mujeres, respectivamente)<sup>4</sup>.

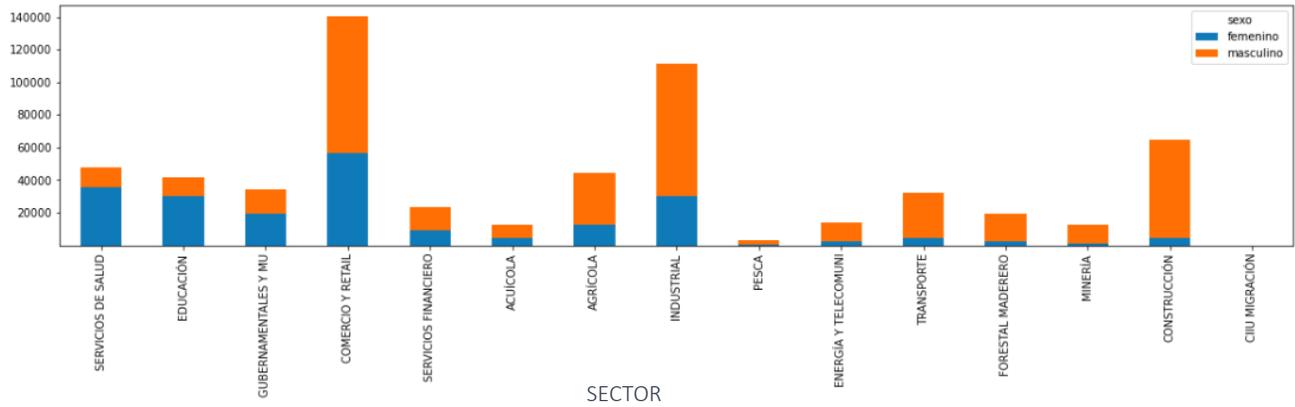
Figura 11: Porcentaje de hombres y mujeres que se accidentan por industria (2019 – 2021)



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

<sup>4</sup> Fuente: [https://minmujeryeg.gob.cl/wp-content/uploads/2021/03/II\\_REPORTE\\_DE\\_INDICADORES\\_DE\\_GENERO\\_EN\\_LAS\\_EMPRESAS\\_EN\\_CHILE.pdf](https://minmujeryeg.gob.cl/wp-content/uploads/2021/03/II_REPORTE_DE_INDICADORES_DE_GENERO_EN_LAS_EMPRESAS_EN_CHILE.pdf)

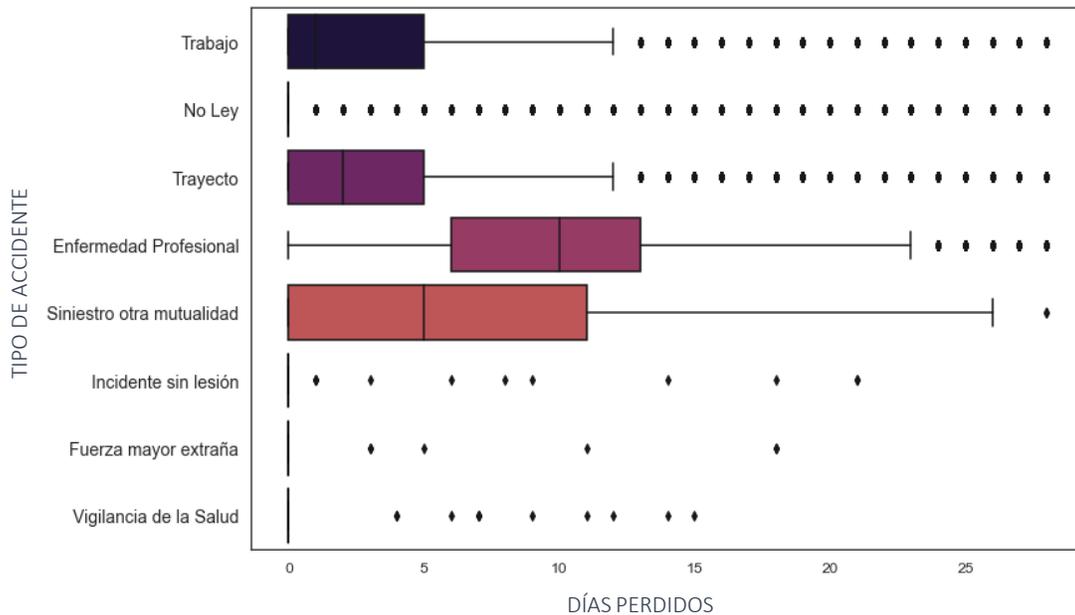
Figura 12: Número de hombres y mujeres que se accidentan por industria (2019 – 2021)



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

La Figura 13 presenta la distribución de días perdidos por tipo de accidente, o siniestro. A modo de comparación, se incluyen en este caso las enfermedades profesionales y los accidentes “No Ley”. Los siniestros de trabajo y trayecto concentran su distribución entre 0 y 5 días.

Figura 13: Boxplot días perdidos por tipo de siniestro (2019 – 2021)



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

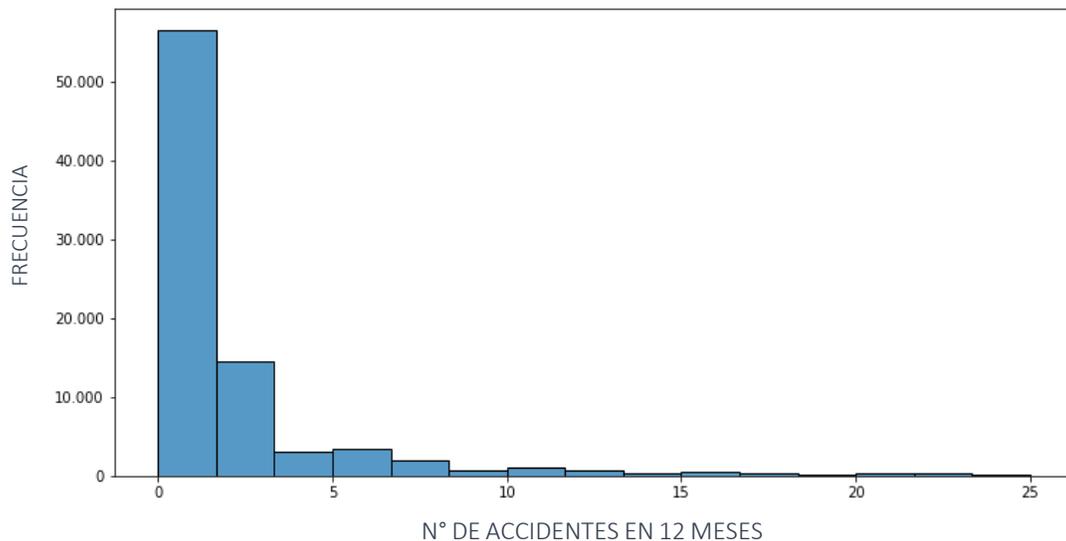
## 8. ANÁLISIS USANDO MÉTODOS ESTADÍSTICOS Y DE *MACHINE LEARNING*

En este apartado, se describen las variables, análisis y modelos utilizados para identificar la correlación entre las actividades que realiza ACHS y la tasa de accidentabilidad. Se realiza un análisis agregando el número de accidentes en 12 meses.

### 8.1. RESUMEN DE VARIABLES RELEVANTES PARA LOS MODELOS

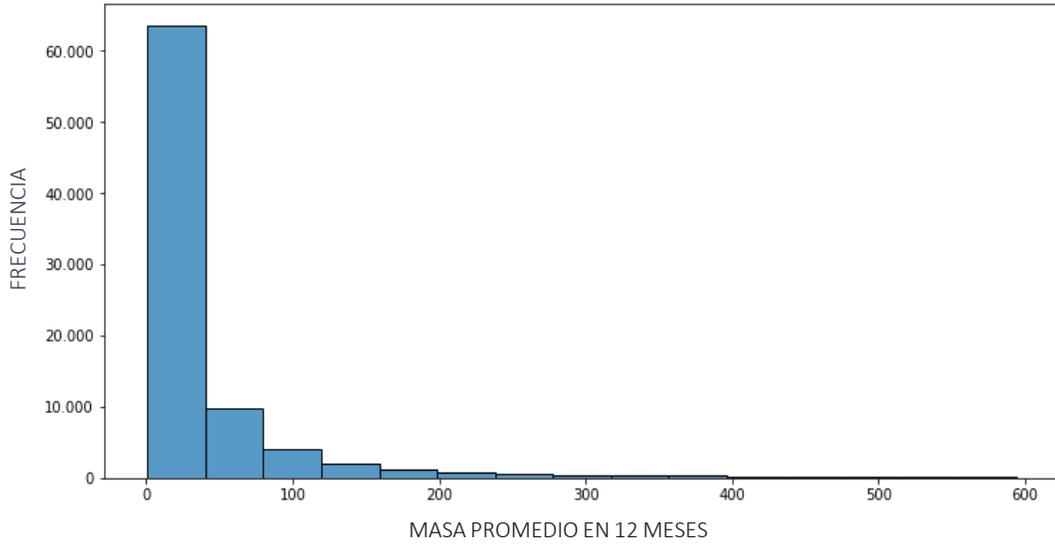
La distribución del número de accidentes en los últimos 12 meses por empresa se encuentra en la Figura 14. La Figura 15 presenta la distribución de la cantidad de trabajadores (o “masa promedio”). La masa promedio está concentrada en valores menores a 10 trabajadores, lo cual corresponde a micro y pequeñas empresas. Esta estadística es esperable dada la distribución y composición de las empresas en Chile que al 2017, según la quinta encuesta longitudinal de empresas (ELE-5), las empresas medianas y grandes corresponden al 10% del total.

Figura 14: Distribución del número de accidentes en los últimos 12 meses por empresa (2019 – 2021)



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

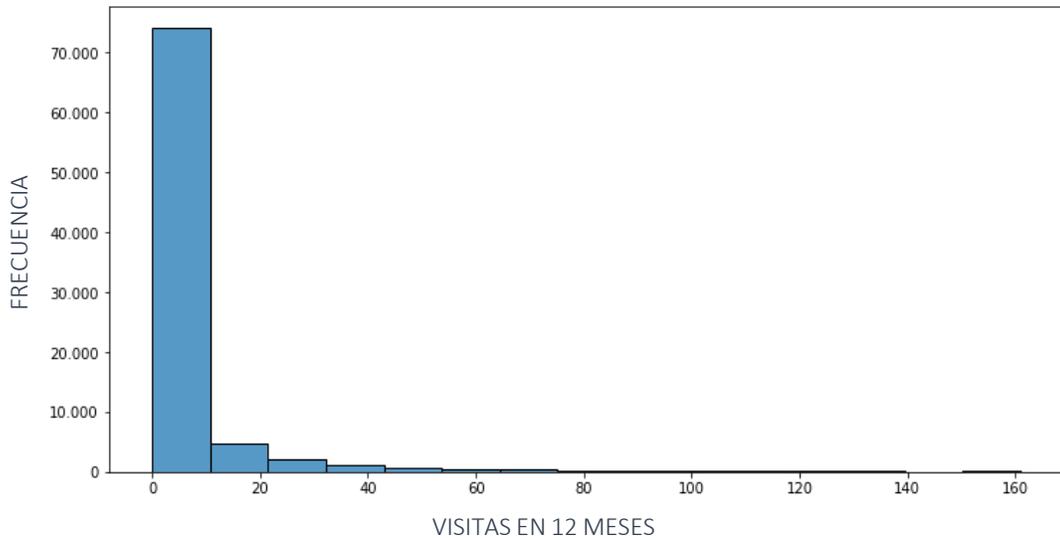
Figura 15: Distribución de la masa promedio (tamaño) en los últimos 12 meses por empresa (2019 – 2021)



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

Con respecto a la cantidad de “visitas” para realizar actividades en las empresas, se observa en la Figura 16 una alta concentración en valores bajo 5 visitas en los últimos 12 meses. Una mayor cantidad de visitas se concentran en empresas grandes (con mayor número de trabajadores), que representan un menor porcentaje del total, como se ha visto anteriormente.

Figura 16: Distribución de número de actividades realizadas (visitas) en los últimos 12 meses por empresa (2019 – 2021)



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

Las siguientes dos figuras (Figura 17 y Figura 18) muestran la cantidad de empresas y el número de actividades por sector económico. Se observa que la mayor cantidad de empresas y visitas se encuentra en comercio y *retail*. En la mayoría de los casos se condice la cantidad de visitas con el número de empresas, no obstante, hay algunos sectores económicos que sobresalen en cantidad de visitas para su número de empresas: gubernamentales, educación, agrícola y energía, y telecomunicaciones.

Figura 17: Distribución del N.º de empresas desde junio 2019 a diciembre 2021.



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

Figura 18: Distribución de visitas por sector económico desde junio 2019 a diciembre 2021

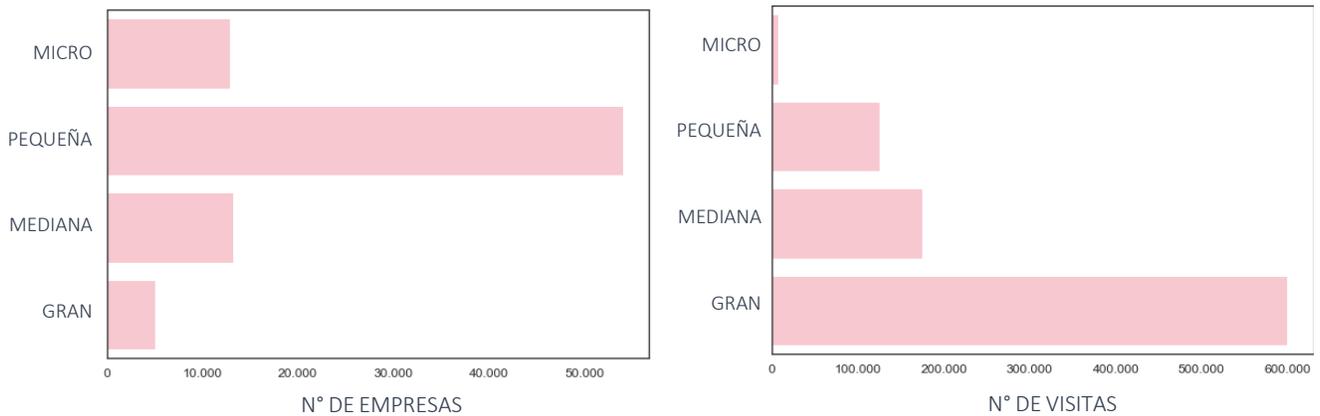


Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

La Figura 19 muestra la distribución de la agrupación de empresas por tamaño en micro, pequeña, mediana y grandes empresas. Consistente con las figuras anteriores, la gran empresa agrupa la mayor cantidad de visitas de actividades. Para hacer más comparables las estadísticas se presenta la Tabla 1 con la razón de accidentes

y visitas por masa de trabajadores promedio en 12 meses para los tipos de tamaño de empresa. De esto se observa que la mediana y pequeña empresa tiene una mayor tasa promedio de accidentes y corresponden a las que tienen una menor tasa de visitas promedio.

Figura 19: Distribución del N.º de empresas (izquierda) y N.º de visitas por tamaño de empresa desde junio 2019 a diciembre 2021 (derecha)



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

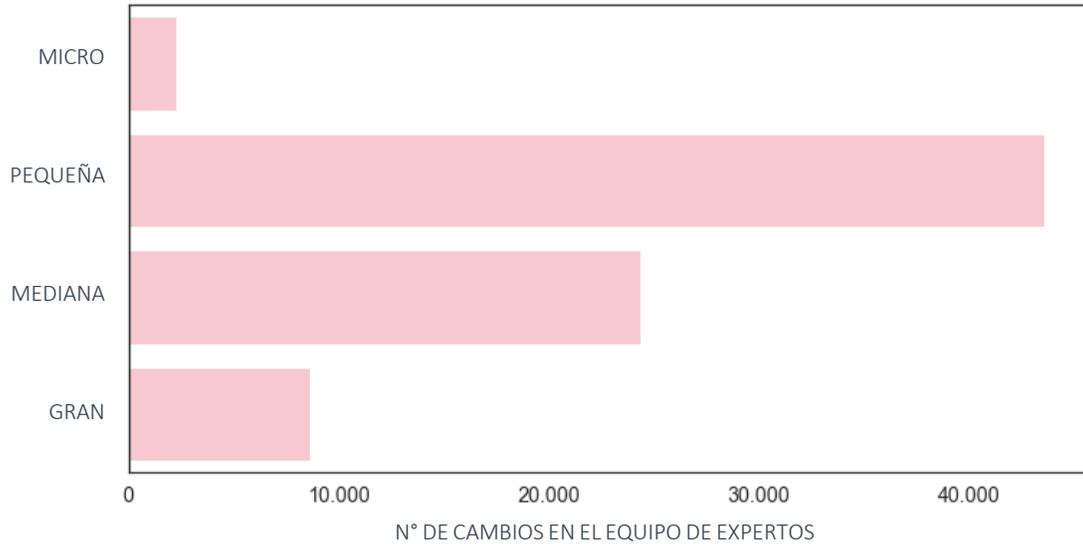
Tabla 1: Promedios y tasas de accidentes y visitas por tamaño de empresa

TAMAÑO EMPRESA	ACCIDENTES ÚLTIMOS 12 MESES PROMEDIO	VISITAS PROMEDIO	MASA PROMEDIO	TASA DE ACCIDENTES PROMEDIO	TASA VISITAS PROMEDIO
<b>Gran</b>	43,33	286,43	1316,52	3,57	22,20
<b>Mediana</b>	5,37	25,15	120,19	4,51	19,70
<b>Pequeña</b>	0,67	2,46	15,48	4,15	15,43
<b>Micro</b>	0,08	0,43	2,15	3,56	29,92

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

En la Figura 20 se muestran los cambios en el equipo completo de expertos, o rotación, por el tamaño de la empresa. Este atributo fue construido para examinar si un cambio completo en el equipo de expertos tiene efectos en la accidentabilidad de las empresas, de manera de estudiar el rol de la continuidad de los expertos en su trabajo preventivo.

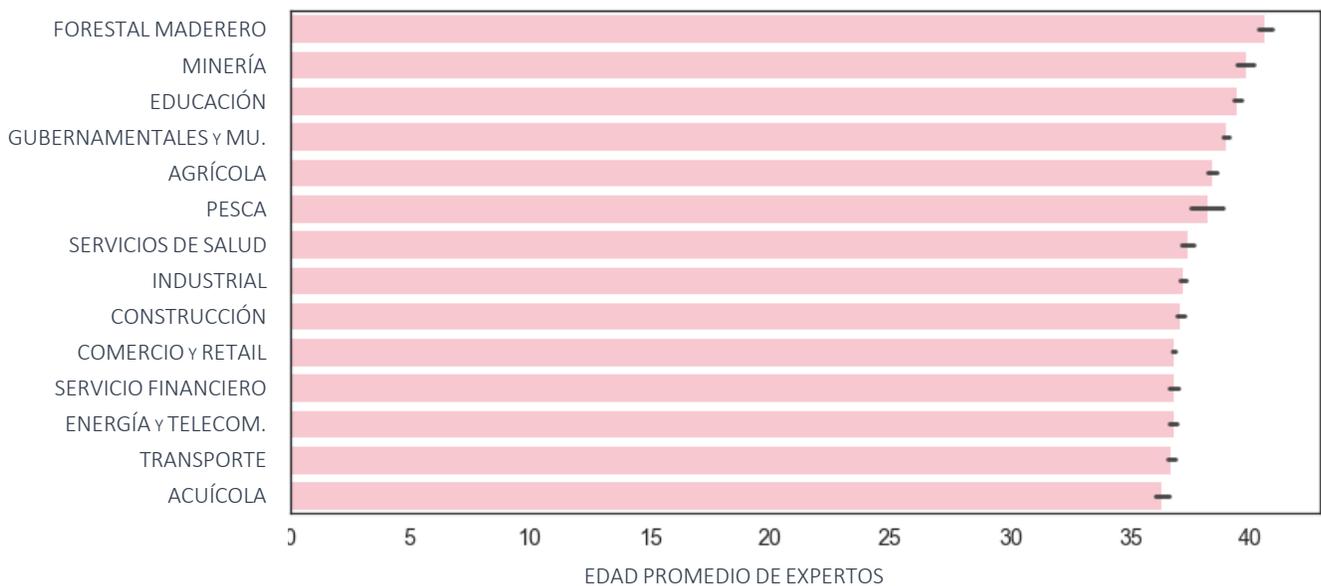
Figura 20: Distribución de cambios en el equipo de expertos por tamaño de empresa



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

Al observar la edad promedio de los expertos por industria, o sector económico, en la Figura 21, no se observan mayores diferencias y la mayoría se encuentra entre los 35 y 40 años.

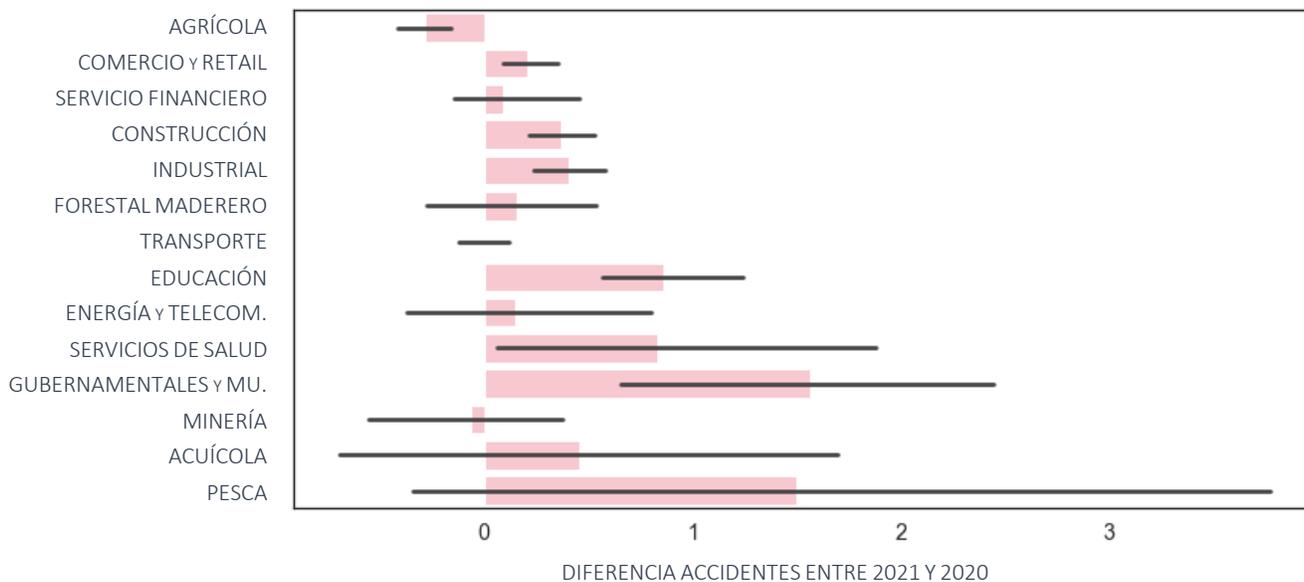
Figura 21: Edad promedio de expertos por industria



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

La Figura 22 exhibe la diferencia de accidentes entre el año 2021 y 2020 por industria, donde sobresale pesca con un aumento de accidentes, pero con una alta varianza, respondiendo al bajo número de empresas en este sector. Los sectores gubernamentales, servicios de salud y educación también presentan una mayor cantidad de accidentes en el año 2021 con respecto al 2020 en comparación a otros sectores.

Figura 22: Diferencia de accidentes entre 2021 y 2020 por industria



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

## 8.2. METODOLOGÍA

La metodología empleada en este proyecto consiste en realizar un análisis estadístico y modelos de machine learning para examinar la relación entre actividades y accidentes.

En este proyecto se cuenta con datos agregados en ventanas móviles de 12 meses para la información de las empresas (número de actividades, masa promedio, entre otros), por tanto, y de forma de tener información de las actividades y los accidentes para periodos equivalentes, se usa la información a diciembre de cada año, 2020 y 2021. Así, cada observación resume los eventos de todo el año. A modo de ilustración, en la Tabla 2 se muestra un ejemplo de la organización de datos para una misma empresa (identificada con el BP<sup>5</sup> Empresa 1.234).

Tabla 2: Ejemplo de las observaciones utilizadas para el modelamiento

AÑO	VISITAS (SUMA DE LOS 12 MESES)	MASA PROMEDIO (DE LOS ÚLTIMOS 12 MESES)	TASA DE ACCIDENTES PROMEDIO (12 MESES)	BP EMPRESA
2019	25	1316,5	3,57	1.234
2020	19	1126,2	4,51	1.234
2021	23	1276,4	4,15	1.234

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

Dado que se cuenta con información agrupada por año, las ventanas de evaluación serán de 12 meses, es decir, se mide la correlación entre las actividades ejecutadas en el año  $t$  y la accidentabilidad en el año  $t+1$ . Dado el

<sup>5</sup> Código único interno en ACHS, este se encuentra concatenado con la dirección de cada centro

proceso endógeno de generación de actividades, este estudio no establece efectos causales entre los distintos tipos de actividades y los accidentes.

### 8.2.1. Variables de actividades realizadas para examinar correlación con accidentabilidad

- **Delta\_AT:** diferencia entre los accidentes ocurridos en la empresa *i* para el año 2021 y los accidentes ocurridos para la misma empresa el año 2020.
- **Masa promedio:** promedio de trabajadores para el año 2020 en la empresa *i*.
- **Grupo actividad:** corresponden a categorías de actividades agrupadas por la ACHS, cuyos tipos se especifican en la Tabla 3 y hace referencia a la cantidad de actividades realizadas en el 2020 para cada uno de los grupos de actividades.
- **Delta expertos:** número de veces en que el equipo de expertos que visitaba a una empresa rotó completamente entre actividades consecutivas para el año 2020. Dado que parte de las actividades nacen de los expertos, la rotación de éstos puede estar asociada a cambios del *status quo* en las propuestas de actividades y relación con las empresas.
- **Edad experto:** promedio de la edad de los expertos que visitaron a la empresa *i* durante el año 2020.
- **Sector económico:** sector económico de la empresa. Estos son: acuícola, agrícola, energía y telecomunicaciones, educación, forestal maderero, gubernamental, pesca, servicios de salud, servicios financieros, minería, construcción, comercio y *retail*, industrial y transporte.
- **Región:** grupo de variables *dummy* que indica si es que la empresa *i* tiene presencia en alguna de las regiones (esta variable podría tomar el valor 1 para las 16 regiones si es que la empresa tiene sucursales en todas las regiones de Chile).

Tabla 3: Código y descripción para los grupos de actividades

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
ACT OT	Fidelización
ACT RG	Regulatorio
ACT AS	Asesorías
ACT ADMIN	Administrativo
ACT HE	Higiene y Ergonomía
ACT PS	Psicosocial
ACT GTP	Gestión táctica preventiva
ACT CP	Campaña
ACT EP	Enfermedades profesionales

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

### 8.2.2. Variables de factores para examinar correlación con actividades

- **GTP:** cantidad de actividades de tipo gestión táctica preventiva de la empresa *i* para el año 2021.
- **AS:** cantidad de actividades de tipo asesoría de la empresa *i* para el año 2021.
- **HE:** cantidad de actividades de tipo higiene y ergonomía de la empresa *i* para el año 2021.
- **CP:** cantidad de actividades de tipo campaña de la empresa *i* para el año 2021.
- **Masa promedio:** promedio del número de trabajadores para el año 2020 en la empresa *i*.

- **Accidentes de trabajo:** cantidad de accidentes de trabajo ocurridos en la empresa  $i$  para el año 2020.
- **Deltas expertos:** número de veces en que el equipo de expertos que visitaba a una empresa rotó completamente entre actividades consecutivas en el año 2020.
- **Edad experto:** promedio de la edad de los expertos que visitaron a la empresa  $i$  durante el año 2020.
- **Sector económico:** sector económico de la empresa (al igual que lo descrito en la subsección anterior).
- **Región:** grupo de variables *dummy* que indica si es que la empresa  $i$  tiene presencia en alguna de las regiones (al igual que lo descrito en la subsección anterior).

### 8.3. RESULTADOS

El primer análisis corresponde a modelos de regresión lineal para examinar el efecto de las actividades en accidentes del año siguiente, y a modelos de regresión de Poisson para examinar qué factores están relacionados a cada tipo de actividad. Estos modelos permiten en forma simple comprender las relaciones entre variables. El segundo análisis examina estas relaciones utilizando un modelo de *machine learning*, árboles de regresión, de manera de extender el análisis previo con modelos no paramétricos.

#### 8.3.1. Modelos de regresión lineal y de Poisson

En la Tabla 4 se examina el efecto de las actividades realizadas en el año 2020 (todas las actividades o sólo las realizadas por expertos), sobre la diferencia de accidentabilidad del año 2020 al año 2021. Para ello, se muestran los resultados de regresiones lineales con errores estándares robustos<sup>6</sup>, usando como variable dependiente Delta\_AT ( $\Delta AT$ ), considerando distintos conjuntos de empresas. La especificación del modelo lineal se representa en la ecuación 1.

Ecuación 1: Modelo Lineal

$$\Delta AT_i = \alpha + \gamma Masa_i + \sum_{j \in \{GTP, AS, HE, CP\}} \beta_j Actividad_{ji} + \delta Edad_i + \theta DeltaExpertos_i + \varphi_i + \vartheta_i + \varepsilon_i$$

Donde las variables corresponden a las descritas en la sección 8.2.1,  $\varphi_i$  y  $\vartheta_i$  son los efectos fijos por región y sector económico, y  $\varepsilon_i$  es el error idiosincrático. Se descartaron las actividades de tipo fidelización y administrativo, por incluir intervenciones que no necesariamente apuntan a la prevención de accidentes, las actividades de tipo psicosocial y enfermedades profesionales, por tener una varianza cercana a cero, y las regulatorias, debido a su carácter obligatorio.

<sup>6</sup>Se realiza la prueba de White para determinar presencia de heterocedasticidad en los modelos.

Tabla 4: Regresión sobre la diferencia en accidentes de trabajo entre los años 2021-2020 ( $\Delta$ AT)

	CONSIDERANDO TODAS LAS ACTIVIDADES			CONSIDERANDO SÓLO ACTIVIDADES DE EXPERTOS		
	Empresas medianas y grandes	Empresas grandes	Empresas medianas	Empresas medianas y grandes	Empresas grandes	Empresas medianas
MASA PROMEDIO	0,00560*** (0,00142)	0,00593*** (0,00154)	0,00597*** (0,00230)	0,00644*** (0,00171)	0,00675*** (0,00177)	0,00601** (0,00236)
ACT GTP	-0,02221 (0,01580)	-0,02860 (0,04922)	-0,02150** (0,00905)	0,02732 (0,05415)	0,02827 (0,05530)	-0,00240 (0,02644)
ACT AS	0,00359 (0,01103)	-0,00832 (0,03369)	0,00731 (0,00538)	-0,07573 (0,05715)	-0,07803 (0,05937)	-0,00134 (0,05353)
ACT HE	-0,03162 (0,02337)	-0,04545 (0,06475)	-0,00332 (0,01609)	-0,18923*** (0,05792)	-0,19258*** (0,05983)	-0,02023 (0,03996)
ACT CP	-0,07103 (0,154388)	-0,63513 (1,314303)	-0,15324 (0,120051)	-1,38383 (1,128262)	-1,65382 (1,231615)	0,25345 (0,46900)
EDAD EXPERTOS	-0,02284* (0,01304)	-0,05178 (0,06492)	-0,02088*** (0,00796)	-0,02612** (0,01318)	-0,07890 (0,06277)	-0,02169*** (0,00797)
DELTA EXPERTOS	0,13425* (0,07502)	0,31695* (0,17902)	-0,01609 (0,01929)	0,12664* (0,06960)	0,30175* (0,16804)	-0,01740 (0,01988)
Efecto fijo por sector económico	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Efecto fijo por regiones	✓	✓	✓	✓	✓	✓
R <sup>2</sup> Ajustado	0,128	0,137	0,011	0,151	0,164	0,009
Número de observaciones	6.163	1.703	4.460	6.163	1.703	4.460

Nota: \* $p < 0,1$ ; \*\* $p < 0,05$ ; \*\*\* $p < 0,01$ . Errores estándares entre paréntesis.

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

La Tabla 4 muestra los resultados por tipo de empresa (todas, grandes, y medianas) y si se consideran todas las actividades o solo aquellas que son propuestas por expertos (es decir, un subconjunto de las actividades de cada tipo)<sup>7</sup>.

En relación con las actividades realizadas, los resultados de la tabla indican que las actividades de gestión táctica preventiva realizadas en el 2020, en empresas medianas, están correlacionadas con una disminución de accidentes. En particular, cada actividad GTP adicional en empresas medianas correlaciona con una reducción del delta de accidentes en 0,02; lo que es un resultado relevante considerando que, en promedio, del año 2020 al 2021 hubo un aumento de 0,27 accidentes en este tipo de empresas (la magnitud del efecto es similar en empresas grandes, pero no hay evidencia suficiente dado el menor tamaño de la muestra en este

<sup>7</sup> Se realiza una prueba de Chow para determinar la presencia de un quiebre estructural en los datos considerando empresas medianas y grandes, cuyo resultado determina que existen diferencias al separar dichas empresas, por lo que se muestran ambos resultados.

caso). No hay otras actividades que en forma significativa estén relacionadas a un cambio en la cantidad de accidentes, cuando se consideran todas las actividades que realiza la ACHS (la mayor parte son centralizadas).

Al considerar solamente las actividades que son propuestas por los expertos, las actividades de tipo higiene y ergonomía tienen una relación negativa con la cantidad de accidentes, especialmente en las empresas grandes. Cada una de estas actividades adicionales reduce en 0,19 la cantidad de accidentes de un año al siguiente en empresas grandes, que tuvieron un aumento promedio de 2,54 accidentes del año 2020 al 2021. No hay otro tipo de actividades que esté relacionada a un cambio de accidentes en las últimas tres columnas de la tabla.

En cuanto a las variables de control, se observa que hay un aumento en la cantidad de accidentes en el año siguiente: (1) a mayor cantidad de trabajadores, (2) a menor edad de los expertos (estadísticamente significativo solamente en empresas medianas), y (3) a menos veces en que el equipo de expertos cambió, pero únicamente en empresas grandes. En el caso de la edad, se puede considerar esta variable como una aproximación de la antigüedad de los expertos (experiencia), pero también puede estar correlacionado con el tipo de empresas que personas de mayor edad visitan. De manera similar, se podría indicar que, a mayor rotación de expertos, aumenta más la cantidad de accidentes en empresas grandes, sugiriendo que la continuidad en los equipos de expertos que visitan a las empresas puede contribuir en la efectividad de las actividades. Es decir, una menor rotación podría suponer mantener ciertas políticas de actividades o relación con las empresas. Sin embargo, también puede deberse que hay ciertas empresas que presentan rotación de expertos por factores correlacionados a que exista una mayor cantidad de accidentes, aun cuando se manifiesten en el año siguiente.

En conclusión, los modelos anteriores indican que existen tipos de actividades (asesorías y campañas) que no estarían asociadas a una baja de accidentes para ningún tipo de empresas, aun cuando sean propuestas por los expertos. Por otro lado, las actividades de gestión táctica, propuestas a nivel central sí pudiesen disminuir accidentes al año siguiente, así como también las de higiene y ergonómicas, propuestas por expertos para empresas grandes, parecen tener impacto. Dados los resultados basados en la edad y rotación de expertos, sería importante conocer el tipo de actividades y relación que tienen con las empresas quienes llevan más tiempo en el rol de experto.

El segundo análisis corresponde a modelos de regresión de *Poisson* para examinar el efecto de factores relacionados a las empresas o a los expertos del año 2020 en la cantidad de las principales actividades realizadas en el año 2021 (es decir, se asume que la cantidad de actividades siguen una distribución de Poisson). Cada modelo utiliza la cantidad de actividades – para GTP, AS, HE y CP – como variables dependientes, como se indica en el siguiente modelo y en la primera fila de la Tabla 5, la cual contiene los datos de todas las empresas. La Tabla 6 muestra los resultados para empresas grandes y medianas por separado.

Ecuación 2: Modelo de Poisson

$$\log(\text{Actividad}_i) = \alpha + \beta \text{Accidentes}_i + \gamma \text{Masa}_i + \delta \text{Edad}_i + \theta \text{DeltaExpertos}_i + \varphi_i + \vartheta_i + \varepsilon_i$$

Donde, se realiza un modelo para analizar cada  $\text{Actividad} \in \{\text{GTP}, \text{AS}, \text{HE}, \text{CP}\}$ , y todas las variables corresponden a las descritas en 8.2.2,  $\vartheta_i$  y  $\varphi_i$  son los efectos fijos por sector económico y región, y  $\varepsilon_i$  es el error idiosincrático.

Tabla 5: Regresión de Poisson para la cantidad de actividades realizadas el 2021 según tipo de actividad

EMPRESAS MEDIANAS Y GRANDES				
	GTP	AS	HE	CP
ACCIDENTES TRABAJO	0,005985*** (0,000093)	0,004975*** (0,000032)	0,004712*** (0,000074)	0,006646*** (0,000499)
MASA PROMEDIO	0,000134*** (0,000003)	0,000140*** (0,000001)	0,000163*** (0,000002)	0,000066*** (0,000019)
EDAD EXPERTOS	-0,011794*** (0,001159)	-0,005026*** (0,000355)	0,003697*** (0,000634)	0,010775** (0,004224)
DELTA EXPERTOS	-0,053761*** (0,002355)	-0,002421*** (0,000488)	-0,011670*** (0,000971)	-0,043494*** (0,009519)
Efecto fijo por sector económico	✓	✓	✓	✓
Efecto fijo por regiones	✓	✓	✓	✓
Pseudo R2	0,413	0,544	0,429	0,106
Número de observaciones	6.163	6.163	6.163	6.163

Nota: \* $p < 0,1$ ; \*\* $p < 0,05$ ; \*\*\* $p < 0,01$ . Errores estándares entre paréntesis.

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

Tabla 6: Regresión de Poisson para la cantidad de actividades realizadas el 2021 según tipo de actividad y tamaño de empresa

	EMPRESAS GRANDES				EMPRESAS MEDIANAS			
	GTP	AS	HE	CP	GTP	AS	HE	CP
ACCIDENTES TRABAJO	0,004236*** (0,000096)	0,003458*** (0,000033)	0,003119*** (0,000078)	0,004779** (0,000557)	0,033585*** (0,002662)	0,016133*** (0,00093)	0,031652*** (0,001343)	0,005677** (0,002581)
MASA PROMEDIO	0,000151*** (0,000003)	0,000141*** (0,000001)	0,000164*** (0,000002)	0,000065** (0,000022)	0,009986*** (0,000414)	0,010111*** (0,000131)	0,006893*** (0,00022)	0,001040*** (0,000248)
EDAD EXPERTOS	-0,047688*** (0,00171)	-0,036535** (0,000519)	-0,010845*** (0,000974)	-0,011788 (0,00724)	0,000767 (0,002135)	0,009893*** (0,000653)	0,003264*** (0,001096)	-0,000317 (0,000926)
DELTA EXPERTOS	-0,038372*** (0,002382)	-0,000161 (0,000488)	-0,015623*** (0,001089)	-0,017265* (0,009313)	-0,000205 (0,003518)	0,018325*** (0,000866)	0,018319*** (0,001182)	-0,006380*** (0,00153)
Efecto fijo por sector económico	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Efecto fijo por regiones	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Pseudo R2	0,421	0,535	0,419	0,128	0,116	0,204	0,210	0,026
Número de observaciones	1.703	1.703	1.703	1.703	4.460	4.460	4.460	4.460

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

La Tabla 5 y Tabla 6 muestran que existe una correlación positiva entre el número de accidentes y el número de actividades que se realizan para los cuatro tipos de actividades estudiadas. Este resultado sugiere que la ACHS y el equipo de expertos estarían planificando sus actividades en respuesta a los niveles de accidentabilidad de las empresas de cualquier tamaño. En segundo lugar, es posible apreciar una correlación positiva entre el número de trabajadores y los cuatro grupos de actividades presentados. Además, la relación entre la cantidad de actividades y la edad promedio de los expertos depende del tipo de actividad y el tamaño de la empresa. En empresas grandes, todas las actividades están negativamente correlacionadas con la edad de los expertos (aunque para la variable CP no en forma estadísticamente significativa). En empresas medianas, las actividades de asesorías e higiene y ergonomía tienen una relación positiva con la edad de los expertos (a mayor edad, mayor cantidad de este tipo de actividades). Esto indica que pueden existir perfiles de expertos dedicados a ciertas empresas y/o ciertas actividades como se sugiere en el análisis anterior. Finalmente se observa que la rotación de expertos se relaciona de forma distinta a cada tipo de actividades, y difiere del tamaño de las empresas. Esto se puede deber a que los cambios de expertos se focalizan en ciertas empresas.

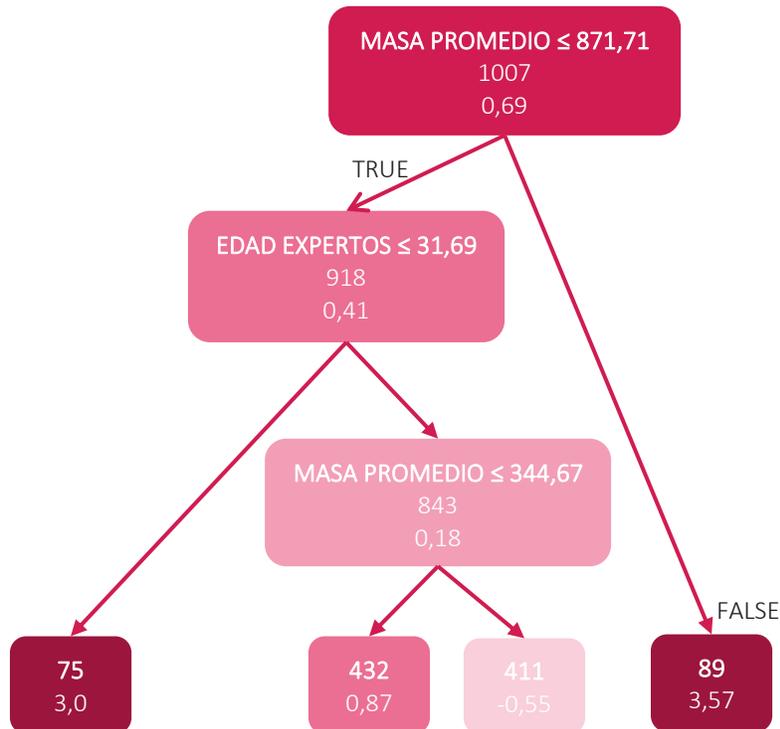
A modo general, con respecto a los dos análisis anteriores, se concluye que la correlación entre las actividades de un año y los accidentes del año previo puede responder a una reacción por parte de la ACHS y sus expertos, que no siempre conllevan, a su vez, una disminución en accidentes al año siguiente. En particular, no se observan que todos los grupos de actividades afecten el nivel de accidentabilidad. Las excepciones serían las actividades del grupo GTP, planificadas a nivel central, y del grupo HE, planificadas por expertos, que sí están asociadas a una disminución de accidentes. Además, estos análisis suponen una relación paramétrica entre variables, por lo cual en la siguiente subsección se utiliza un modelo de *machine learning*.

### 8.3.2. Modelo de árboles de regresión

En este apartado se presentan los resultados basados en árboles de regresión. Estos modelos han sido escogidos por sobre otros modelos de *machine learning* dado que poseen una alta interpretabilidad, permitiendo inferir relaciones entre las variables dependientes e independientes.

En cada representación de los árboles, se muestran puntos de división (ramificaciones) en función de una condición. Esta puede cumplirse o no (representado en las figuras por *True* o *False*, respectivamente). Dentro de los nodos aparecen tres elementos: (1) el criterio de ramificación (2) el número de observaciones (3) el valor promedio de la variable objetivo para todas las observaciones. Primero se realiza un análisis utilizando como variable dependiente la variación en el número de accidentes, y luego utilizando el número de actividades, diferenciando los modelos por tamaño de empresa y agregación de la fuente de actividades, tal como se realizó los análisis anteriores. Al término de la sección se resumen los resultados encontrados.

Figura 23: Variación cantidad de accidentes para empresas grandes considerando todas las actividades

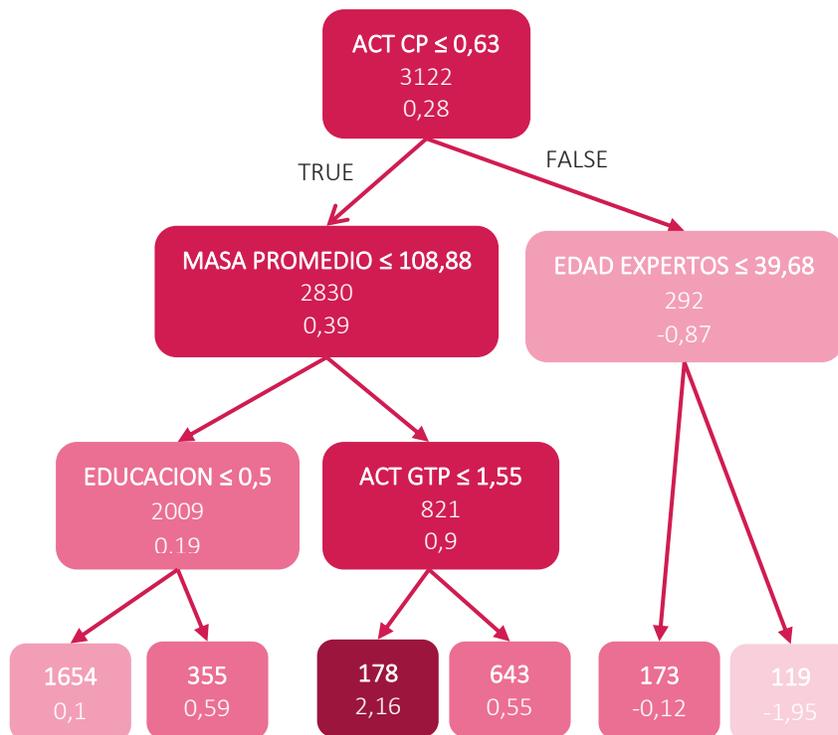


Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

En la Figura 23 se tiene como variable dependiente la diferencia absoluta entre el número de accidentes ocurridos en la empresa *i* para el año 2021 y el número de accidentes ocurridos para la misma empresa en el año 2020. Por tanto, un número positivo significa que hubo un aumento en el número de accidentes. En particular, en esta figura se observa que empresas con un número de trabajadores entre 344,7 y 871,7, y que

fueron visitadas por expertos mayores a 31,7 años, experimentaron una disminución en el número de accidentes. La relevancia de las variables de masa promedio y edad de los expertos es consistente con los modelos paramétricos de los análisis anteriores. En esta figura también destaca que se identifican dos grupos, marcados en el color más oscuro, que tienen un aumento relevante en el número de accidentes; empresas con más de 872 trabajadores y aquellas con menor número de trabajadores, pero que fueron visitadas por expertos menores a 32 años. Este resultado refleja las bondades de un modelo no paramétrico para caracterizar las condiciones y tipos de empresas e identifica en este caso subsegmentos de empresas donde ACHS podría concentrar sus esfuerzos según sea la característica del segmento particular.

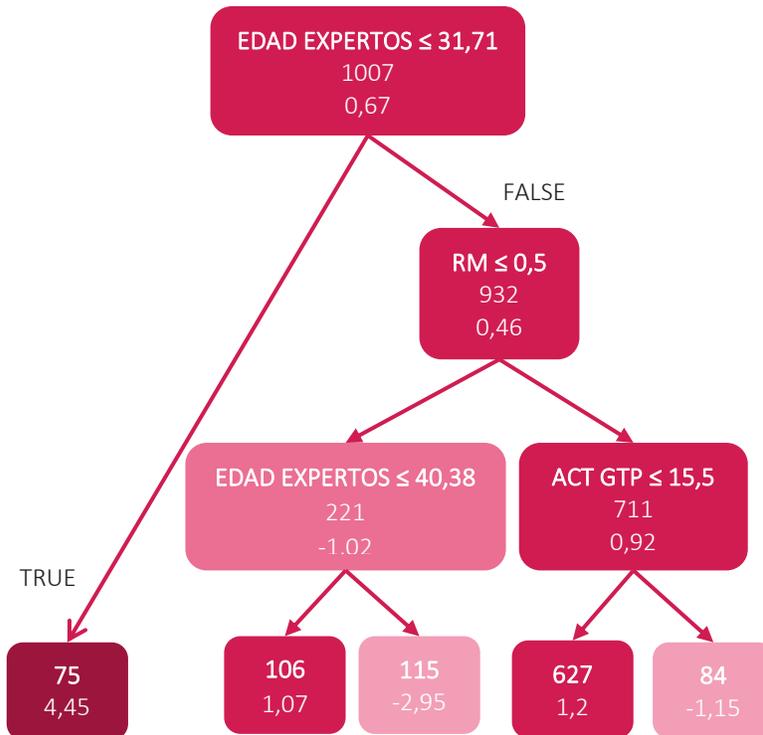
Figura 24: Variación cantidad de accidentes para empresas medianas considerando todas las actividades



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

El árbol de regresión de la Figura 24 fue entrenado con la misma variable objetivo que el de la Figura 23, esta vez para empresas medianas, considerando actividades planificadas de forma central y por expertos. En este caso el modelo estima una disminución en la cantidad de accidentes para las empresas medianas si se ejecutan más de 0.6 actividades de campaña por cada 100 trabajadores. Esta predicción de la disminución de los accidentes se ve acentuada en el caso en que, además, la edad promedio de los expertos que visitan a las empresas es mayor a los 39 años.

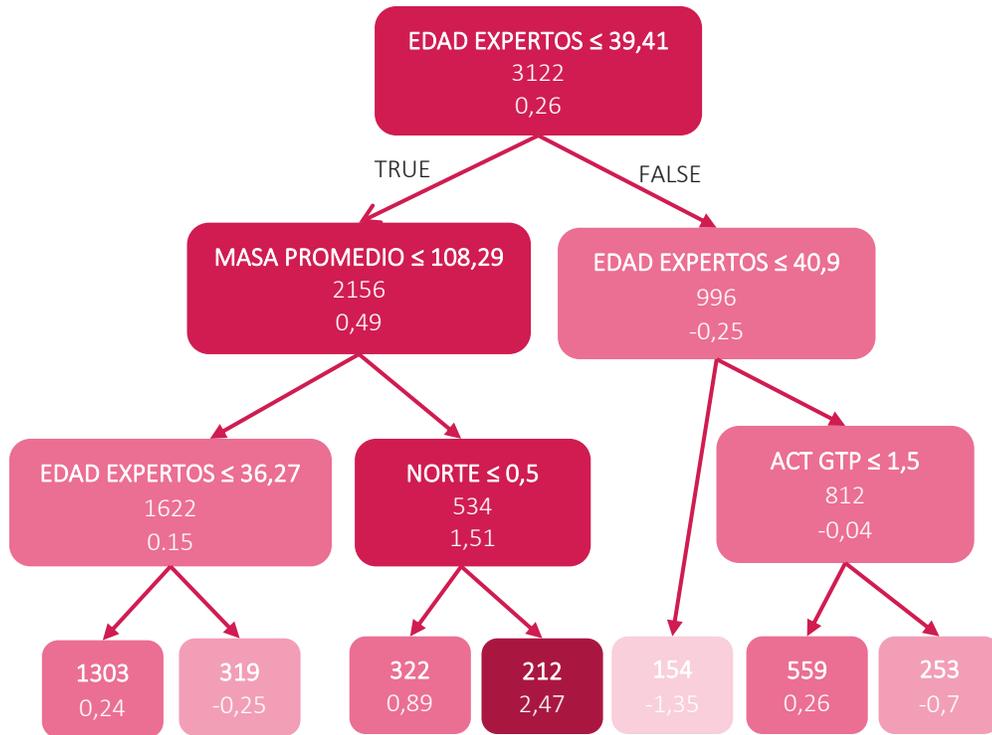
Figura 25: Variación cantidad de accidentes para empresas grandes considerando sólo actividades de expertos



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

En la Figura 25 se observa que, para empresas grandes, y considerando sólo las actividades planificadas por expertos, la mayor disminución en la cantidad de accidentes se explica en los escenarios en que la edad promedio de los expertos que realizan las actividades es superior a los 40,4 años y las empresas no tienen presencia en la Región Metropolitana (RM). Sólo para empresas (con presencia en la RM) visitadas por expertos menores a 31,7 años se encuentra relevancia en el número de actividades: empresas que han realizado más de 15,5 actividades de gestión táctica preventiva disminuyen el número de accidentes.

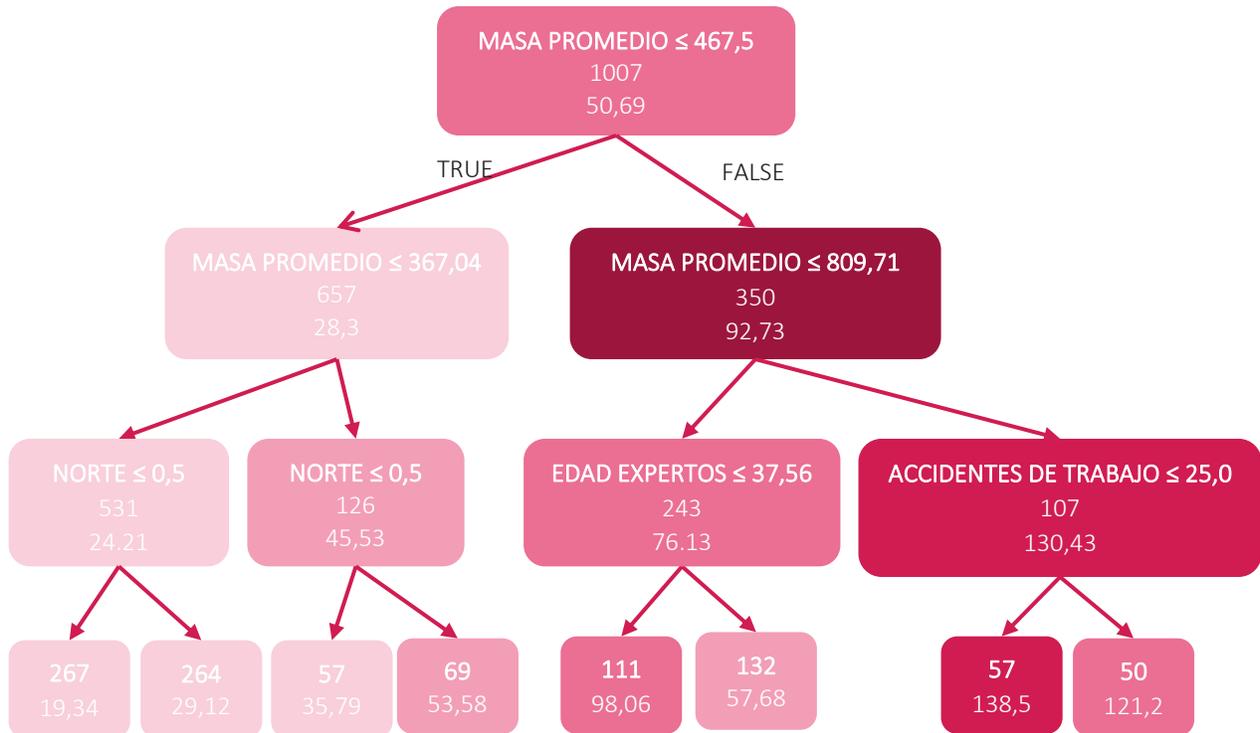
Figura 26: Variación cantidad de accidentes para empresas medianas considerando sólo actividades de expertos



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

En la Figura 26, para empresas medianas y considerando sólo las actividades planificadas por expertos, se observa que la mayor disminución en el número de accidentes se explica únicamente basado en la edad promedio de los expertos, específicamente en el rango (39,4, 40,9]. En general, se observa que los resultados utilizando un modelo lineal (sección anterior) es coherente con los resultados de este modelo no paramétrico, tanto en las variables que explican la diferencia en el número de accidentes como en su signo (la masa promedio, edad de los expertos y actividades GTP).

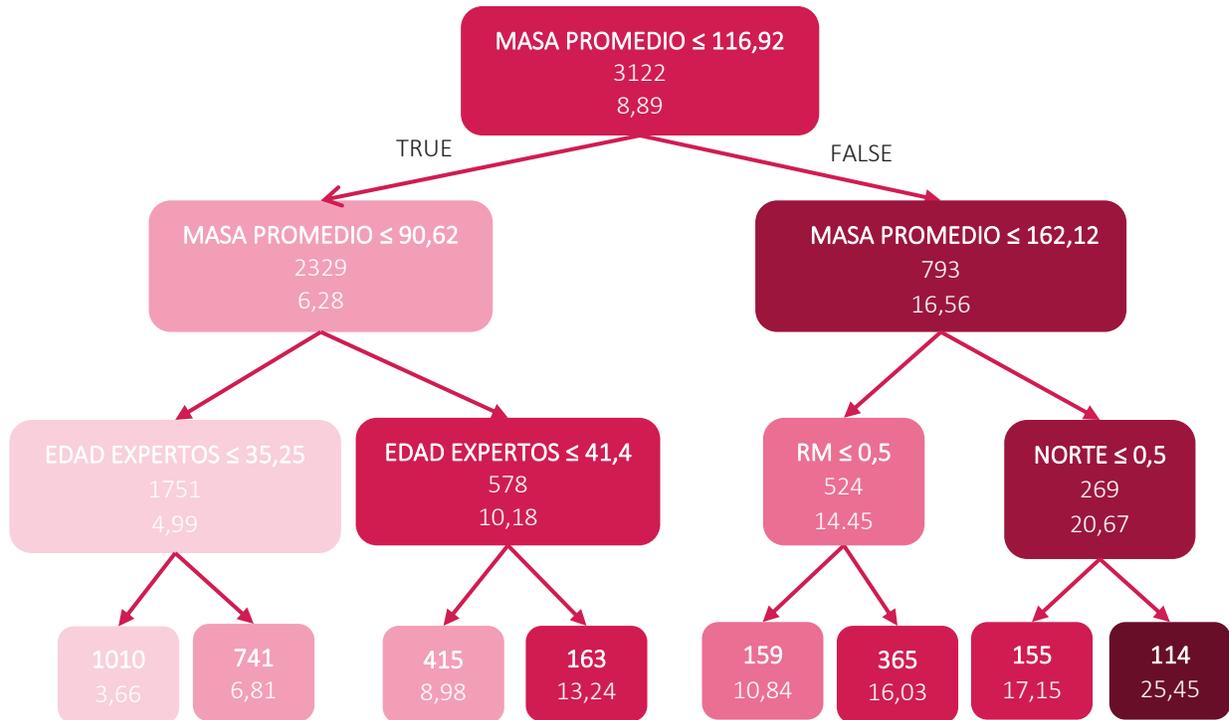
Figura 27: Cantidad de actividades de asesoría (AS) para empresas grandes



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

A diferencia de los modelos anteriores, la Figura 27 utiliza un modelo entrenado para predecir el número de actividades de asesorías en empresas grandes. Se muestra que existe una relación creciente en función de la masa promedio de las empresas, lo cual tiene sentido, ya que es conocida la correlación que existe entre el número de trabajadores de una empresa y la cantidad de actividades que se realizan en estas. Lo más interesante que indica este modelo es que para empresas con más de 809,7 trabajadores, una cantidad de accidentes menor a 25 determina mayor cantidad de actividades de asesoría en el año siguiente, aunque el número de empresas en este nodo es bastante menor).

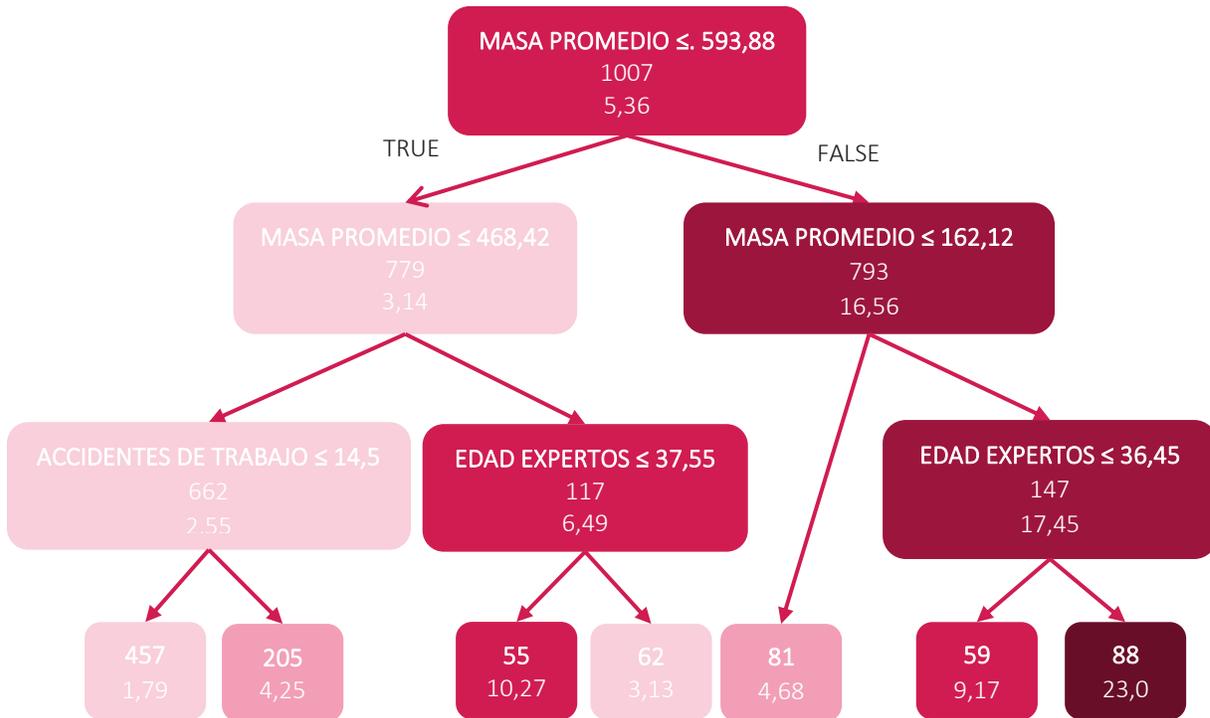
Figura 28: Cantidad de actividades de asesoría (AS) para empresas medianas



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

En la Figura 28 se presenta el resultado de un modelo entrenado para predecir el número de actividades de asesorías en empresas medianas. En este caso, se puede ver que el modelo espera se realicen más actividades en empresas con presencia en la Región Metropolitana y con un número de trabajadores en el rango (116,9, 162,1], mientras que en empresas con masa promedio de más 162,1 trabajadores, se espera que se realicen más actividades en las empresas con presencia en el norte. Es interesante observar que los modelos para estimar el número de actividades de asesoría (AS) para empresas medianas o grandes difieren básicamente en la región en que se concentra una mayor cantidad de empresas (ya sea mediana o grande, dependiendo del modelo). Esto tiene sentido, considerando la presencia de numerosas empresas mineras en el norte de Chile. Así mismo, notar que las variables se condicen con las que son consideradas como estadísticamente significativas por el modelo lineal en los análisis anteriores.

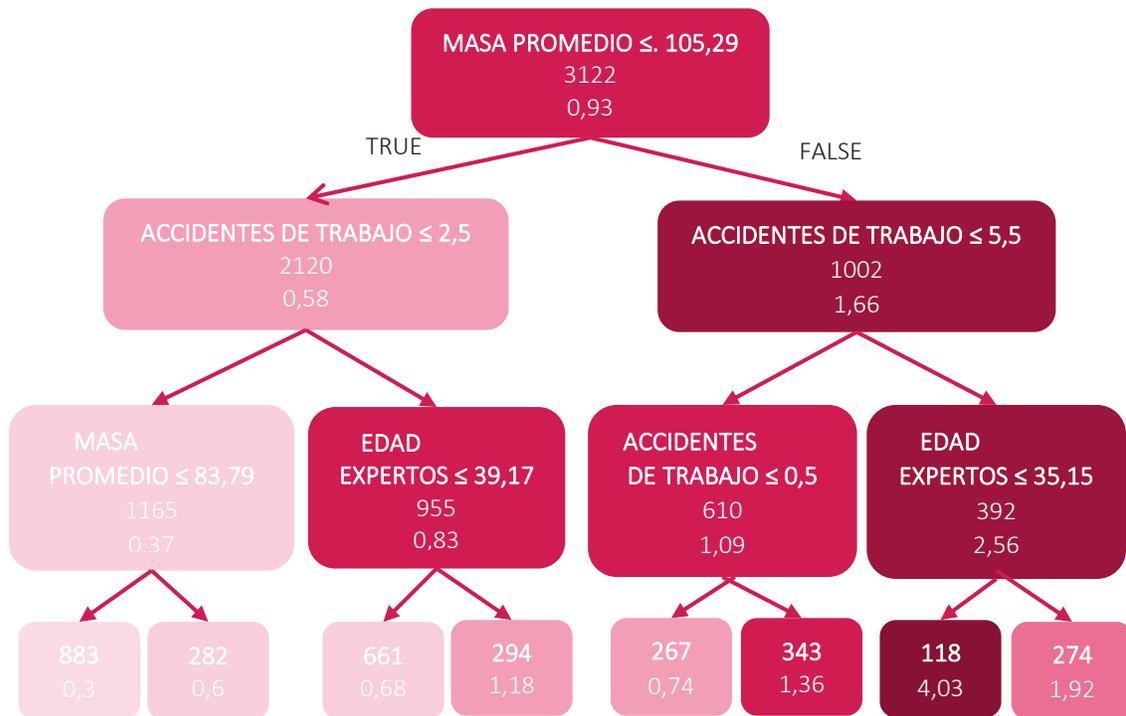
Figura 29: Cantidad de actividades de gestión táctica preventiva (GTP) para empresas grandes



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

La Figura 29 muestra el resultado de un modelo entrenado para predecir el número de actividades de Gestión táctica preventiva (GTP) en empresas grandes. Una vez más se observa la relación entre masa promedio y el número de actividades, esto ocurre en la primera ramificación en torno a empresas con un número menor o igual a 593,9 trabajadores en promedio, en comparación con las empresas con una masa promedio superior a ese número. En el primer escenario, se esperan 3,14 actividades GTP en promedio, mientras que en el segundo se esperan 12,9 actividades GTP en promedio

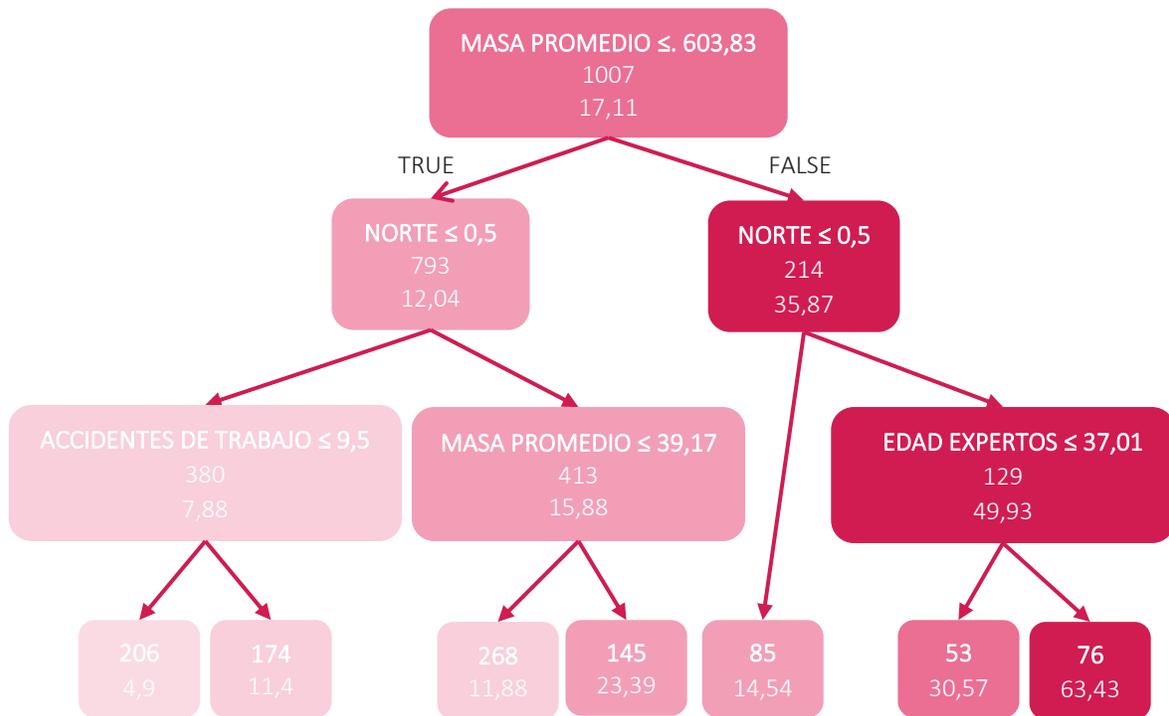
Figura 30: Cantidad de actividades de gestión táctica preventiva (GTP) para empresas medianas



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

La Figura 30, es el resultado de un modelo entrenado para predecir el número de actividades de Gestión táctica preventiva en empresas medianas. Al igual que el modelo anterior, se encuentra la relación entre masa promedio y el número de actividades, esto está en la primera ramificación en torno a empresas con un número menor o igual a 105,3 trabajadores en promedio, en comparación con las empresas con una masa promedio superior a ese número. En el primer escenario, se esperan 0,58 actividades GTP en promedio, mientras que en el segundo se esperan 1,66 actividades GTP en promedio. También, se desprende que los accidentes de trabajo que se registran en las empresas explican un aumento en la cantidad de actividades de esta naturaleza, pasando de 0,74 actividades en promedio a 1,36 en promedio cuando en la empresa existen 2 accidentes o más. Otro resultado interesante es la identificación del subsegmento con 118 empresas (color más oscuro) con un número de actividades mucho más alto que en los demás subsegmentos.

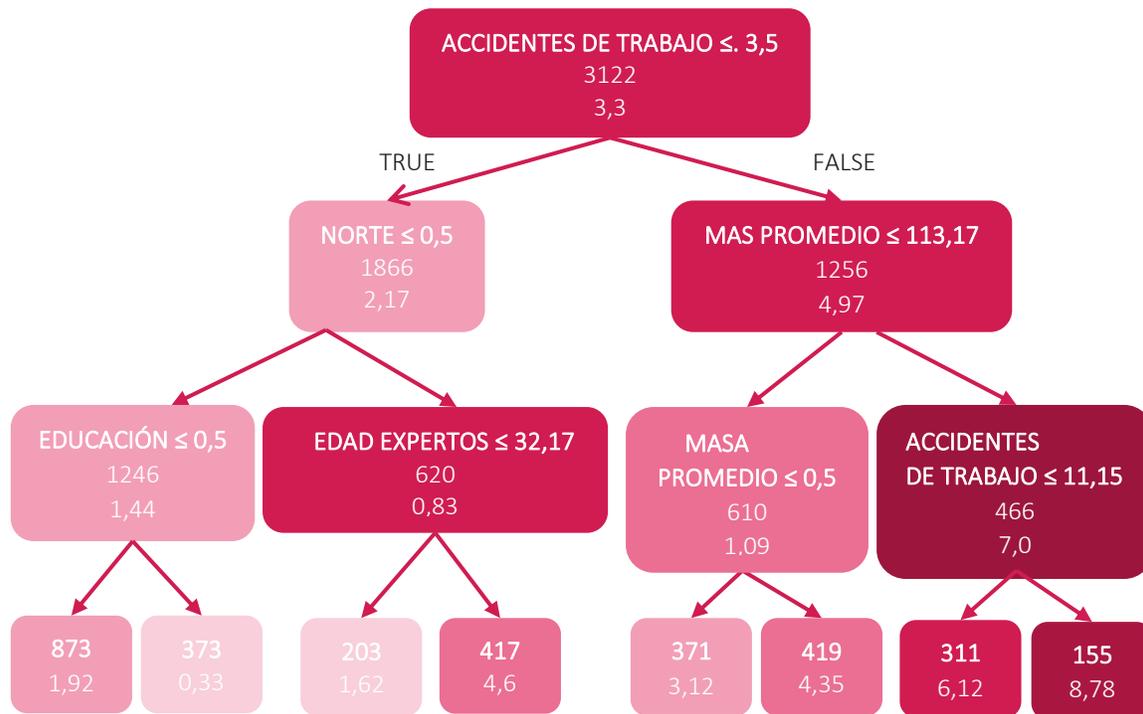
Figura 31: Cantidad de actividades de higiene y ergonomía (HE) para empresas grandes



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

El resultado de un modelo entrenado para predecir el número de actividades de higiene y ergonomía (HE) en empresas grandes se presenta en la Figura 31. Acá, tal como en los dos modelos anteriores, la masa promedio genera un efecto importante en el número de actividades de este tipo que el modelo predice, y, en segundo lugar, el hecho de que la empresa tenga presencia en las regiones del norte del país.

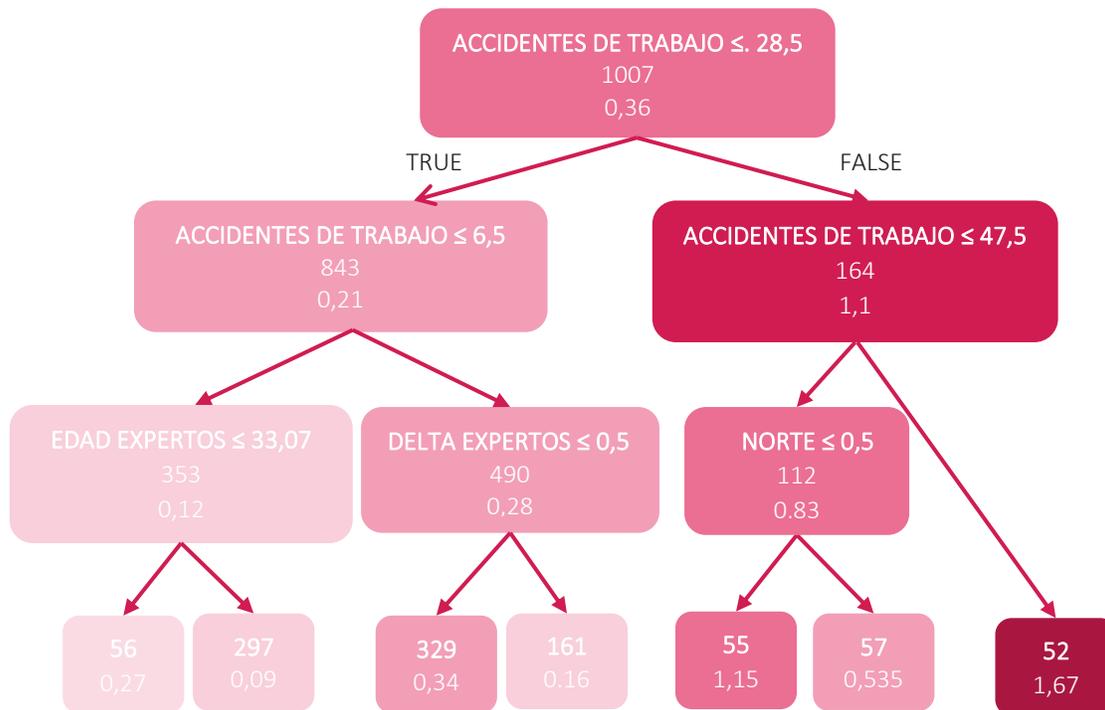
Figura 32: Cantidad de actividades de higiene y ergonomía (HE) para empresas medianas



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

En la Figura 32 se observa el resultado de un modelo entrenado para predecir el número de actividades de higiene y ergonomía (HE) en empresas medianas. A diferencia de los modelos que se habían observado anteriormente, en este caso, no es la masa promedio de las empresas lo que diferencia en mayor medida la cantidad de actividades HE que se espera observar en el siguiente año, sino más bien la cantidad de accidentes de trabajo en una empresa. Si la empresa ha tenido 0 o 1 accidente en los últimos 12 meses, en promedio se espera que se realicen 2,17 actividades de este tipo, mientras que en las empresas que han registrado dos o más accidentes, se espera que en promedio se realicen 4,97 actividades.

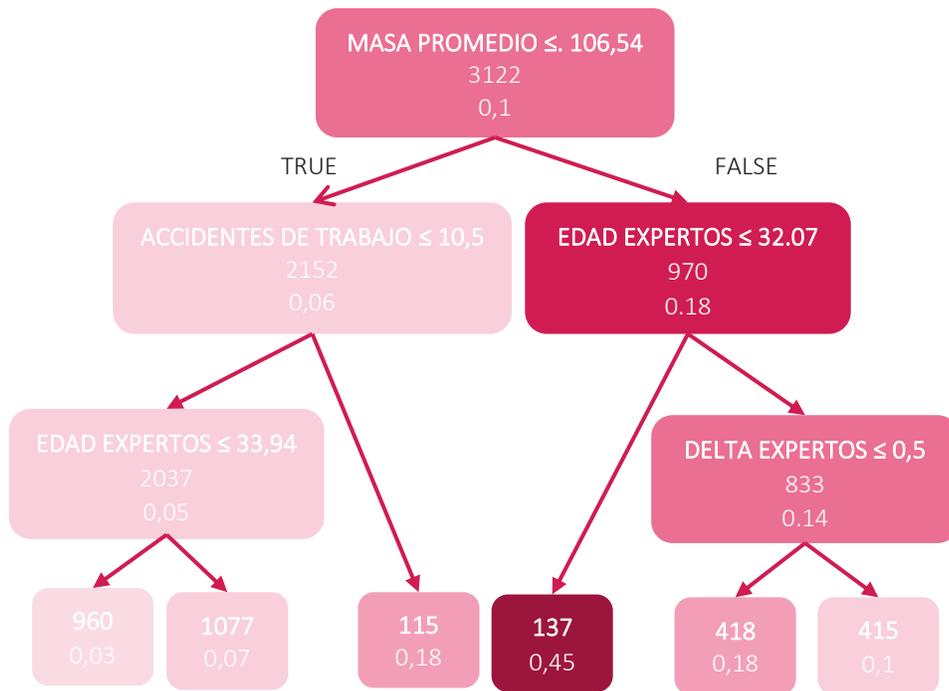
Figura 33: Cantidad de actividades de campañas (CP) para empresas grandes



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

En la Figura 33 se encuentra presentado el resultado de un modelo entrenado para predecir el número de actividades de campaña (CP) en empresas grandes. En este modelo, es interesante notar que las dos primeras ramificaciones del modelo son en base a los accidentes de trabajo que se registran en las empresas. Por otro lado, este modelo estima que se realizará más de una actividad de campaña en los casos en que los accidentes de trabajo son más de 28,5 (en promedio), destacando la relación entre el número accidentes y las actividades que se realizan en las empresas.

Figura 34: Cantidad de actividades de campañas (CP) para empresas medianas



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por ACHS.

En la Figura 34 hace referencia al resultado de un modelo entrenado para predecir el número de actividades de campaña (CP) en empresas medianas. En primer lugar, en esta muestra de empresas, en promedio se realizan 0,1 campañas por empresa, es decir, se interpreta como una actividad que se desarrolla de forma poco frecuente dentro de las empresas, en particular en las medianas, por lo que la muestra es homogénea en la cantidad de campañas que se realiza. Por otro lado, una vez más, el factor que más impacta a la hora de predecir la cantidad de campañas es la masa promedio de las empresas, patrón que ya ha sido comentado en la mayoría de los modelos.

Al modelar la variación en la cantidad de accidentes como variable dependiente, se observa que transversal al tamaño de las empresas y origen de la asignación de las actividades, la masa promedio de trabajadores es un factor que está asociado con un mayor número de accidentes, a pesar de que existen diferencias entre los árboles realizados. Así mismo, una mayor edad de los expertos es un factor asociado a un menor número de accidentes. Estos resultados son esperables al considerar la edad como una aproximación de la experiencia de los expertos, y que una mayor cantidad de trabajadores está directamente relacionada con una mayor probabilidad de accidentes. Respecto a las otras variables presentes en los modelos, es interesante notar algunos resultados como el efecto de las campañas en medianas empresas y la gestión táctica preventiva, lo que aparece en todos los modelos como efectos relevantes, salvo para grandes empresas. Finalmente, es importante destacar que existe consistencia en las variables que fueron estadísticamente significativas en los modelos lineales y de Poisson, con las variables utilizadas por los modelos de árboles para generar las ramificaciones, lo que entrega robustez a los efectos observados. Sin embargo, en los modelos de árboles se puede observar que para algunas variables existen efectos no lineales, como el caso de la masa promedio, que responden a rangos de valores que afectan tanto los accidentes como la cantidad de actividades.

En cuanto a la predicción del número de actividades que se realizará en el siguiente periodo, los modelos suelen diferenciar fuertemente sus estimaciones en función de la masa promedio de las empresas. No obstante, en dos de los modelos presentados, el factor más relevante es el número de accidentes de trabajo que se observaron en los últimos 12 meses para cada empresa. Esto confirma la correlación entre los accidentes en las empresas y el número de actividades. Esto es relevante, ya que confirma la hipótesis de que las actividades “siguen” a los accidentes, lo cual está alineado con el modelo de asignación vigente en ACHS presentado en la Figura 2. Para las actividades generadas por expertos, los modelos que utilizan sólo estas actividades sirven como insumo inicial para una predicción que simule la decisión de éstos para distintos tamaños de empresas.

## 9. PROPUESTA DE UN SISTEMA DE RECOMENDACIONES ÓPTIMAS

En este capítulo se aborda la propuesta de factibilidad y condiciones necesarias para lograr la implementación de un sistema de recomendaciones óptimas que busque minimizar las tasas de accidentabilidad en las empresas, a través de una adecuada asignación de actividades. Gran parte de las conclusiones que se derivan del trabajo realizado en este proyecto se obtienen de las brechas y necesidades levantadas en la organización y los datos, junto a los resultados de modelos estadísticos y de *machine learning*.

Los modelos desarrollados en este proyecto, especialmente aquellos que utilizan las actividades que originan los expertos, servirían para emular la decisión de éstos, además de, poder identificar mejores prácticas en la generación de algunos tipos de actividades. Por ejemplo, los resultados indican que la rotación y edad de los expertos están correlacionados con ciertas actividades y con la accidentabilidad, y, por lo tanto, realizar análisis sobre los procesos que estos expertos realizan puede ayudar al rediseño de actividades y a la relación que se establece con las empresas.

### 9.1. COMENTARIO GENERAL DEL SISTEMA PROPUESTO

Sobre la base de lo que el personal de ACHS señala, actualmente la institución cuenta con un sistema de asignación para las actividades, este considera reglas mediante la cual prioriza la realización de ciertas actividades, basados en los siguientes criterios:

1. Cumplimiento Regulatorio
2. Cumplimiento Comercial
3. Gestión
4. Táctico
5. Genérico

Es precisamente en el último punto, el genérico, en donde entran en juego otros indicadores, como el Z-score o la necesidad de ampliar la cobertura territorial. No obstante, ni el Z-score, ni otros indicadores desarrollados por ACHS consideran el conjunto de actividades que pueden llevar a la disminución de la tasa de accidentabilidad para una empresa. Se plantea que esto último se podría conseguir, si es que se logra determinar cuál es el impacto que generan las actividades que ACHS desarrolla en función de (1) tipo de actividad, (2) las características de la empresa y (3) la interacción que puede existir entre los distintos tipos de actividades que se desarrollen en las empresas por parte de ACHS.

Para lo anterior, se propone el uso de un modelo de programación lineal entera mixta que incorpore una forma funcional. Para esto, bastaría con encontrar la forma funcional entre el número y tipo de actividades que desarrolla ACHS, agregándola como una restricción al modelo. Con esto, el sistema no sólo recomienda cuál es el *mix* de actividades que se deben desarrollar para minimizar la tasa de accidentabilidad, sino que también, mediante restricciones, se asegura de cumplir con todos los objetivos planteados por ACHS (cumplimiento regulatorio, aspectos comerciales, restricciones presupuestarias, entre otros), al mismo tiempo que puede estar sujeto a restricciones de capacidad, costos, despliegue territorial, contingencias, robustez, entre otras características deseables de un sistema de asignación o programación de actividades.

En lo que sigue, se listan y describen las condiciones que luego de haber realizado este estudio, se establecen como necesarias (aunque no necesariamente suficientes) para lograr el objetivo de desarrollar un sistema de asignación/programación de actividades.

## 9.2. CONDICIONES MÍNIMAS Y RECOMENDACIÓN PARA EL SISTEMA PROPUESTO

---

Como se señala anteriormente, a continuación, se listan los elementos que se consideran indispensables para la implementación de un sistema que busque asignar las actividades de forma idónea, de manera de reducir las tasas de accidentabilidad. Existen muchos otros elementos “higiénicos” para que esto pueda ser implementado, cómo personal experto en modelamiento y optimización matemática, *solvers* de optimización, bases de datos con información actualizada y de fácil acceso, entre muchos otros aspectos tecnológicos y técnicos. No obstante, en lo que sigue se hace referencia a insumos para este sistema que, de nuestro conocimiento, hoy ACHS no dispone o no se encuentran en la forma idónea, y por tanto se recomienda avanzar en la obtención o desarrollo de los puntos que se listan abajo.

- A. **Fuentes de información:** para lograr determinar el efecto que producen las actividades en la disminución de la tasa de accidentes, en primer lugar, es necesario contar con información desagregada a nivel de sucursal (y no empresa como la que se utiliza en este trabajo), que registre todas las actividades que se realizaron a nivel mensual y los accidentes observados para dicha sucursal por meses. Idealmente, se debería contar con un listado de asistentes/participantes en las actividades, ya que, con esto, se podrían establecer relaciones a nivel de trabajador entre accidentabilidad y actividades.
- B. **Caracterización de actividades:** en este proyecto se utiliza como caracterización de las actividades la variable denominada “grupos tipo actividad”, la cual segmenta a las actividades en 9 categorías. Se considera que este tipo de agrupación aún es muy poco granular como para diferenciar efectivamente de que consta una actividad. No obstante, las otras variables que tienen relación a la caracterización de actividades, “motivos” y “sub motivos”, segmentan a las actividades en 107 y 374 categorías respectivamente, lo que hace muy difícil poder encontrar relaciones entre la actividad y su relación con la tasa de accidentabilidad, ya que muchos de esos grupos o segmentos se observan muy pocas veces y con poca regularidad dentro de la base de datos y de las ventanas de tiempo observadas, lo que impide a los modelos de machine learning, estimar el efecto que estas actividades generan. Se plantea, por tanto, la necesidad de formular una caracterización para las actividades que permita distinguirlas en función del objetivo de la actividad, su formato, duración, asistentes y metodología utilizada.
- C. **Impacto de las actividades en la tasa de accidentabilidad:** tal como se menciona en el apartado anterior, el punto crítico trata de establecer si existe o no una relación causal entre la aplicación de actividades y la disminución de la tasa de accidentabilidad, y de existir, en qué magnitud, para que tipos de sucursales esto existe, para cuáles no, y en qué rangos y tipos de actividades esto ocurre. Con esto queremos decir, que es necesario encontrar una forma funcional que explique la tasa de accidentabilidad en función de las características observables de una sucursal y las actividades que realiza ACHS en dichas sucursales.

Este punto es de vital importancia para lograr el desarrollo de un modelo de asignación/programación de actividades, ya que este modelo debe ser capaz de decidir qué mix de actividades desplegar en una determinada sucursal, en un determinado tiempo, con el objetivo de alcanzar la tasa de accidentabilidad más baja posible dado los recursos disponibles. Para esto, una forma de poder capturar esta información es mediante experimentos aleatorios, en donde se planteen grupos de control y tratamiento, en los cuales se asignen intervenciones de forma aleatoria y aislada temporalmente. Para su realización se debe considerar el aspecto ético de no realizar actividades de prevención, por lo cual se pueden utilizar otras estrategias: en primer lugar, utilizar experimentos *escalonados*, en los cuales se varían aleatoriamente el momento y/o la cantidad de actividades que se realizan (por ejemplo, Araya et al., 2022). En segundo lugar, se puede utilizar métodos cuasiexperimentales como dif-in-dif, regresión discontinúa, y uso de variables instrumentales. Sin embargo, estos métodos requieren del análisis de un contexto que brinde un *shock* exógeno o supuestos de contrafactuales para identificar el efecto causal de las actividades. Esto último es importante, ya que, para realmente ser capaz de identificar el efecto de una actividad, es necesario que esa actividad no haya sido realizada de forma próxima a otra actividad, ya que, en dicho caso, el efecto final no se podría atribuir de forma efectiva a una actividad en particular.

Un buen punto de partida para la medición de impacto de las actividades son los resultados de las relaciones encontradas en los modelos econométricos y de árboles de regresión, donde las actividades de gestión táctica preventiva se relacionan con menor cantidad de accidentes. Por otro lado, las actividades de higiene y ergonomía programadas por expertos se relacionan con menos accidentes, especialmente en empresas grandes.

Con respecto a los expertos, a partir del análisis de correlaciones, a mayor rotación en los equipos de expertos se realizan en general menos actividades en las empresas, lo que se puede traducir en un aumento en los accidentes de empresas grandes. A su vez la edad de los expertos no tiene un efecto claro en su relación con los accidentes, en los modelos econométricos se ven correlaciones dependiendo del tipo de empresas que visitan, en empresas medianas, los expertos más jóvenes hacen menos actividades y se correlaciona con más accidentes. No obstante, en los modelos de árboles de regresión se observa en general que, a mayor edad, en promedio, existe una menor cantidad de accidentes.

- D. **Estimación de costos por actividad:** un punto que sería de mucho interés para todos los agentes relacionados al mundo de la prevención de accidentes consiste en estimar cuál es el costo de ejecutar cada una de las actividades (medidas en algún tipo de agrupación). Si esto es posible, y además se logra saber lo descrito en el punto anterior, el impacto de las actividades en la tasa de accidentabilidad sería posible encontrar una relación de costo efectividad para las actividades sobre la tasa de accidentabilidad, de forma de priorizar no sólo aquellas que tienen el mayor impacto, sino que también el menor costo. Con esto, sujeto al mismo presupuesto actual, se podría incrementar la cantidad de actividades que efectivamente disminuyen las tasas de accidentabilidad que hoy se realizan, permitiendo, eventualmente, una disminución de las tasas de accidentabilidad para las empresas aseguradas por ACHS.

- E. **Modelamiento del sistema de asignación:** cumpliendo los puntos señalados anteriormente, es posible desarrollar un modelo de asignación óptimo sujeto a restricciones presupuestarias, regulatorias y comerciales que incorpore los parámetros estimados a partir de los puntos previos. Este modelo debe dejar a su vez un espacio a la innovación de resultados con un porcentaje de la asignación a libre determinación por expertos, para que se pueda reestimar parámetros y validar resultados. A continuación, se deja una formulación general del modelo, la cual en primera etapa puede ser determinista, o incorporar aleatoriedad en los efectos de siniestralidad según las actividades realizadas.

Ecuación 3: Modelo de minimización de tasa de accidentes.

$$\begin{aligned}
 & \text{minimize } f(x) = \text{tasa accidentes} \\
 & \text{s. t} \\
 & \sum C * X_{ij}^t \leq C_{total}^{tm} \quad (\text{restricción presupuestaria}) \\
 & \sum X_{ij}^{t,m} \geq M^{tm} \quad (\text{restricción comercial}) \\
 & \sum X_{ij}^{t,m} \geq R_i^{t,m} \quad (\text{restricción regularia}) \\
 & f(x) = \sum \beta_{ij} * X_{ij}^{t,m} \quad (\text{relación entre función objetivo y decisión}) \\
 & \text{Decision:} \\
 & X_{i,j} = \{1 \text{ si se asigna actividad } i \text{ exp } j \text{ en empresa } m \text{ en periodo } t, 0 \text{ sino}\}
 \end{aligned}$$

$C_{total}^{tm}$  = presupuesto total disponible para actividades. Equivalente a capacidad.

$M^{tm}$  = requerimientos de actividades comerciales. Mínimo a realizar.

$R_i^{t,m}$  = requerimiento de restricciones regulatorias. Mínimo a realizar.

$\beta_i^{t,m}$  = efecto de la actividad  $i$ , en tipo de empresa  $j$  en la tasa de accidentabilidad.

En el modelo planteado, el modelo busca resolver el problema de minimizar la tasa de accidentes global mediante la decisión de que actividad asignar a cada empresa en un determinado momento del tiempo. Para esto, la tarea fundamental trata de encontrar la relación que existe entre la función objetivo y las variables de decisión (asignación de actividad).

- F. **Rol de expertos en generación de actividades:** debido a que este estudio tuvo una naturaleza correlacional en sus resultados, se propone estudiar efectos causales del rol que tienen los expertos a través de experimentos con asignación aleatoria. En particular, se sugiere establecer el porcentaje de generación de actividades entre los expertos y de manera central en forma aleatoria (por ejemplo, 20% vs. 40% generado por expertos), de manera de medir el impacto causal de los expertos en la accidentabilidad. En este experimento, se puede medir la heterogeneidad por tipo de empresa. Alternativamente, se puede asignar aleatoriamente el tipo de actividades que los expertos pueden manejar en su portafolio.

Finalmente se propone un esquema de etapas con algunos de los puntos mencionados previamente, a modo de hoja de ruta, para la realización del sistema de recomendación propuesto (Figura 35).

Figura 35: Esquema de etapas de implementación de sistema de asignación



Fuente: Elaboración propia, CSP.

## 10. CONCLUSIONES

El actual sistema de asignación de actividades tiene como principal componente una planificación centralizada de actividades. Esta asignación se basa principalmente en: cumplimiento regulatorio, cumplimiento comercial, gestión, táctico, y genérico. Este tipo de asignación determinista limita las oportunidades en la generación de un sistema de recomendación.

A partir de la información recopilada entre 2019 y 2021 de las actividades y cantidad de accidentes ocurridos a nivel de empresa, se realizaron varios análisis exploratorios para lograr una primera comprensión de los datos. Luego se determinaron correlaciones entre las actividades y accidentes a través de modelos de regresión y de árboles de regresión, de cara a sentar las bases de un sistema de asignación de actividades óptimo.

De modo general, se puede concluir que el número de accidentes está correlacionado positivamente con la cantidad de actividades que se realizan el año siguiente. Sin embargo, solo las actividades GTP y HE están correlacionadas con los cambios en número de accidentes al año siguiente.

En todos los modelos se distingue que la masa promedio de trabajadores y la edad de los expertos son variables que correlacionan significativamente con la variación en el número de accidentes. Al analizar estos resultados, es esperable una mayor cantidad de accidentes a mayor cantidad de trabajadores. Asimismo, es esperable una menor cantidad de accidentes a una mayor edad de los expertos considerando esta variable como una aproximación de la experiencia respectiva.

No obstante, con respecto a las otras variables presentes en los modelos, relacionadas a la cantidad de actividades que se realizan según tipo, es interesante ver algunos resultados en los modelos como el efecto de campañas en medianas empresas y la gestión táctica preventiva que tiene relación en todos los modelos salvo para grandes empresas incluyendo actividades centralizadas.

Se concluye que actualmente no existen políticas en el modelo de asignación de actividades que permitan capturar datos suficientes para estudiar el efecto de las actividades en las tasas de accidentabilidad. Para esto hemos planteado la realización de experimentos aleatorios, de forma de estudiar cuál es el efecto de las distintas actividades que realiza ACHS en la tasa de accidentabilidad.

Finalmente se plantean cinco etapas para el desarrollo e implementación de un modelo de asignación óptima, el cual se hace cargo de este problema desde la captura de información hasta la escalabilidad de un sistema luego de haber sido testeado.

## 11. REFERENCIAS

- Araya, S., Elberg, A., Noton, C., & Schwartz, D. (2022). Identifying food labeling effects on consumer behavior. *Marketing Science*.
- Beus, J. M., McCord, M. A., & Zohar, D. (2016). Workplace safety: A review and research synthesis. *Organizational psychology review*, 6(4), 352-381.
- Goodman-Bacon, A. (2018). *Difference-indifferences with variation in treatment timing - Working Paper 25018*. National Bureau of Economic Research.
- Gray-Gariazzo, N., Vives, A., González, F., & Molina, A. (2018). Gender and ageing at work in Chile: employment, working conditions, work-life balance and health of men and women in an ageing workforce. *Annals of work exposures and health*, 475-489.
- Heinrich, C., Maffioli, A., & Vazquez, G. (2010). *A primer for applying propensity-score matching*. Inter-American Development Bank.
- Hofmann, D. A., Burke, M. J., & Zohar, D. (2017). 100 years of occupational safety research: From basic protections and work analysis to a multilevel view of workplace safety and risk. *Journal of applied psychology*, 102(3), 375 - 388.
- Salazar , A., Frenz, P., Valdivia, L., & Hurtado , I. (2013). Skills Evaluation of the Occupational Safety and Health Managers in Chile.
- Sarkar, S., Vinay, S., Raj, R., Maiti, J., & Mitra, P. (2019). Application of optimized machine learning techniques for prediction of occupational accidents. *Computers & Operations Research*, 106, 210-224.

## 12. ANEXOS

### Anexo 1

Campos de la base de datos entregada para el análisis y su descripción:

<b>Campo</b>	<b>Definición Campo</b>
periodo	Periodo actividad
fecha_def	Fecha en que actividades contabilizadas
id_visita	ID visita
id_estado_visita	ID estado de la visita
desc_estado_visita	Descriptor de estado de la visita
tipo_asignacion_visita	Forma en que actividad fue asignada
id_actividad	ID actividad realizada en visita
id_estado_actividad	Descriptor de estado de la actividad
id_tipo_actividad	ID estado de la actividad
desc_tipo_actividad	Descriptor del tipo de actividad
clasificacion_actividad	Clasificador de actividad
group_tipo_actividad	Agrupación de actividad
id_tipo_asignacion	Forma en que actividad fue asignada
desc_tipo_asignacion	Descriptor de asignación de la actividad
desc_corta_actividad	Descripción corta de la actividad
desc_larga_actividad	Descripción larga de la actividad
cod_motivo	Código del Motivo de la actividad
desc_motivo	Descriptor del Motivo de la actividad
cod_submotivo	ID del submotivo de actividad
desc_submotivo	Descriptor submotivo de la actividad
desc_modos	Modo de realización de actividad
bp_empresa	ID interno ACHS de empresa
bp_sucursal	ID interno ACHS de sucursal
comuna	Comuna de la sucursal
region	Región de la sucursal
fecha_termino_fix	Fecha término de la actividad
fecha_modificacion_fix	Fecha modificación de visita
fecha_planificacion_visita	Fecha en que visita ha sido planificada
fecha_creacion_actividad	Fecha en que actividad fue asignada
fecha_inicio_actividad	Fecha en que actividad inició
fecha_modificacion_actividad	Fecha modificación de actividad
plazo_ejecucion_visita	Plazo máximo en que visita debe ser ejecutada
bp_experto	ID interno ACHS de Experto
fecha_nacimiento	Fecha nacimiento de Experto
fecha_antiguedad	Fecha ingreso de Experto a ACHS
masa_empresa	Cantidad de trabajadores de la empresa

<b>Campo</b>	<b>Definición Campo</b>
Estado Actual	Actividad disponible o no actualmente
Actividad	Categoría de actividad
ActividadCodigo	Código de categoría
Motivo	Descriptor del Motivo de la actividad
MotivoCodigo	Código del Motivo de la actividad
Submotivo	ID del submotivo de actividad
SubmotivoCodigo22	Descriptor submotivo de la actividad
Prioridad	Nivel de prioridad de la actividad
Duración Específica en Minutos	Duración estimada en minutos
Duración Específica en Horas	Duración estimada en horas
Modo Actividad (Presencial / Remoto)	Modo de realización de actividad
Información Complementaria	Información complementaria para describir actividad
Submotivo Empresa	Descripción corta de actividad para la empresa
Descripción Empresa	Descripción larga de actividad para la empresa
Objetivo	Objetivo de actividad
¿Cómo?	Como realizar la actividad
¿Por qué?	Motivo por el cual es necesaria la actividad
Documento de Cierre	Documento con el que actividad se da por cerrada
Segmento Antiguo	Segmento en que actividad puede ser aplicada, según segmentación antigua
Segmento Nuevo	Segmento en que actividad puede ser aplicada, según segmentación nueva
Ejecutor	Tipo de Experto que puede realizar actividad
Puede Ejecutar el SVE	Boolean que especifica si actividad se puede realizar por Servicio Virtual Especializado
Público Objetivo	Público objetivo de la actividad
Canal	Canal mediante se solicita actividad
Reglas de Ejecución	Restricciones para poder planificar actividad
Lugar de Ejecución (CM / Sucursal)	Lugar donde puede ser ejecutada la actividad (Casa matriz o Sucursal)
Plazo Ejecución - SLA	Plazo máximo en que visita debe ser ejecutada
Procedimiento Anulación	Procedimiento para que Experto pueda anular actividad planificada
Tipo de Asignación	Quién puede asignar actividad
periodo	Año-Mes del siniestro
fecha_presentacion	Fecha en que se presentó paciente
bp_sucursal	ID de Sucursal asignada al siniestro
tipo_siniestro_actual	Tipo de siniestro
id_siniestro	ID interno de siniestro
dias_perdidos_totales	Días perdidos en el siniestro
numero_paciente	ID interno de paciente

<b>Campo</b>	<b>Definición Campo</b>
sexo	Sexo de paciente
fecha_nacimiento_paciente	Fecha nacimiento paciente
sector	Rubro de la empresa
masa_empresa	Cantidad de trabajadores de la empresa
relato_admision	Relato de siniestro



**CSP** · INGENIERÍA INDUSTRIAL  
UNIVERSIDAD DE CHILE  
CENTRO DE SISTEMAS PÚBLICOS

[www.sistemaspublicos.cl](http://www.sistemaspublicos.cl)  
República 701, Santiago