



Universidad de  
**los Andes**

**Universidad de los Andes**  
**Facultad de Medicina**  
**Departamento de**  
**Epidemiología y Estudios en**  
**Salud**

**Modelo Predictivo de Accidentes Laborales Basado en la Interacción entre MP10,  
Humedad Relativa y Temperaturas Extremas en Trabajadores del Rubro de la  
Construcción en la Región Metropolitana en el periodo 2014 a 2024.**

**Proyecto de grado necesario para optar al grado  
de**

**Magister en Salud Ocupacional y Ambiental**

**Tutor académico: Rolando Vilasau, Co-tutor: Cynthia Urquidi**

**Santiago de Chile, 2025**

## **1. Título del proyecto**

**Modelo Predictivo de Accidentes Laborales Basado en la Interacción entre MP10, Humedad Relativa y Temperaturas Extremas en Trabajadores del Rubro de la Construcción en la Región Metropolitana en el periodo 2014 a 2024.**

## **2. Resumen ejecutivo del proyecto**

Con este proyecto se busca desarrollar un modelo predictivo de accidentes laborales mediante el análisis de la interacción de tres variables ambientales: material particulado respirable (MP10), temperatura ambiental y humedad relativa. Se aplicará en trabajadores del rubro de la construcción, específicamente en la Región Metropolitana, que por sus condiciones geográficas únicas permite que la combinación de estos factores generen riesgos que no son anticipados por los sistemas tradicionales de gestión de seguridad.

El modelo permitirá identificar umbrales críticos de exposición que aumentan la probabilidad de accidentes laborales, integrando datos ambientales oficiales del ministerio de medio ambiente y antecedentes de incidentes en faenas de construcción. Con esto, se podrán generar alertas operativas que definirán medidas preventivas basadas en datos en tiempo real. El proyecto contribuirá a mejorar la seguridad ocupacional desde una perspectiva basada en la evidencia ambiental, alineándose con desafíos como el cambio climático, la contaminación urbana y el trabajo al aire libre.

### **A. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO: Problematicación y Justificación del Proyecto**

#### **1. Planteamiento del Problema, Justificación y Pregunta de Investigación**

La Región metropolitana enfrenta importantes desafíos ambientales relacionados con la calidad del aire, siendo el material particulado MP10 un contaminante crítico que afecta la salud pública y el medio ambiente (Ministerio del Medio Ambiente, 2017). La ubicación única de Santiago dentro de un valle rodeado de montañas crea un efecto trampa que restringe la dispersión de contaminantes atmosféricos además, la alta densidad poblacional y el crecimiento urbano desmedido han llevado a un aumento de las fuentes emisoras de contaminantes ambientales como el tránsito vehicular y la industrialización, contribuyendo a la emisión de contaminantes como el material particulado, el dióxido de nitrógeno y el ozono.

El rubro de la construcción en la Región Metropolitana emplea a más de 600.000 personas (Instituto Nacional de Estadísticas, 2025), la mayoría expuestas a condiciones ambientales que influyen directamente en su seguridad y desempeño. Estas labores se desarrollan fundamentalmente al aire libre, donde las variables del entorno, como la calidad del aire, temperatura y humedad, cambian de forma frecuente durante la jornada.

El cambio climático es uno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad en la actualidad. Su impacto en la salud pública, el medio ambiente y la salud es profundo y multifacético y específicamente en Santiago en 2024 se presentó un récord de 104 días continuos en índices extremos de cambio climático (Dirección Meteorológica de Chile, 2025). Durante ese mismo año se registraron más de 20 episodios críticos de contaminación por MP10 en la Región Metropolitana (Ministerio del Medio Ambiente, 2024). Estas partículas provocan inflamación respiratoria, fatiga y reducción en la capacidad de respuesta física y mental lo que aumenta el riesgo de accidentes de trabajo.

La exposición a temperaturas extremas se asocia a agotamiento por calor, fatiga y a astenia estacional. En la región metropolitana se reportaron 5 olas de calor durante

2024, con una duración máxima de 6 días (Dirección Meteorológica de Chile, 2024). Estas condiciones favorecen la deshidratación, disminuyen la concentración aumentando el riesgo de errores operativos.

Las variaciones en la humedad relativa es un factor condicionante que contribuye al deterioro del estado físico del trabajador, una humedad inferior al 30%, común en la zona central durante gran parte del año, afecta negativamente la termorregulación y la tolerancia al esfuerzo físico (Instituto de Salud Pública, 2017). Esto se manifiesta especialmente en jornadas de mediana a alta exigencia física, como las presentes en obras de urbanización.

En base a esto se puede plantear que la exposición al MP10, la humedad relativa y las temperaturas extremas aumentan el riesgo de accidentes laborales, además que existe una interacción entre estas variables, de forma que concentraciones ambientales elevadas de MP10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), combinados con condiciones de temperaturas extremas ( $^{\circ}\text{C}$ ) y baja humedad (%) influyen en un aumento de la accidentabilidad en sectores expuestos a estas condiciones ambientales como es el rubro de la construcción.

Dicha situación plantea la necesidad de desarrollar un modelo predictivo de accidentes del trabajo que analice la interacción de estas variables y su vínculo con la ocurrencia de accidentes laborales, y de esta forma tomar decisiones preventivas basadas en datos, optimizando los protocolos de seguridad con anticipación a condiciones críticas.

**Pregunta de investigación: ¿De qué manera la interacción entre MP10, las temperatura extremas y humedad relativa influye en la ocurrencia de accidentes laborales en trabajadores de la construcción en la Región Metropolitana, y cómo puede modelarse esta interacción para prevenirlos eficazmente?**

## **2. Objetivo General y Objetivos Específicos**

### **Objetivo General:**

Diseñar un modelo predictivo de accidentes laborales en el sector de la construcción de la Región Metropolitana, basado en la interacción entre las concentraciones de MP10, la humedad relativa y la temperaturas extremas

### **Objetivos Específicos:**

1. Describir la distribución de la temperatura, las concentraciones de MP10, y la humedad relativa en la Región Metropolitana durante el periodo 2014 a 2024.
2. Determinar los umbrales críticos de combinación entre las variables que aumentan el riesgo de accidentes laborales.
3. Validar el modelo en un entorno relevante para evaluar su aplicabilidad y efectividad.

### **3 . Marco Conceptual**

#### **3.1 Riesgos Ambientales y Salud Ocupacional**

El cambio climático, definido por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) como alteraciones sostenidas en los patrones climáticos globales debido principalmente a la actividad humana, representa uno de los mayores desafíos contemporáneos para la salud pública y ambiental (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021). Esta transformación ha intensificado la frecuencia y magnitud de fenómenos extremos como olas de calor, lluvias torrenciales, incendios forestales y sequías prolongadas, afectando directamente los sistemas ecológicos, sociales y económicos.

Desde la perspectiva de la salud humana, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha advertido que el cambio climático constituye la mayor amenaza para la salud global en el siglo XXI. Entre los principales efectos directos se encuentran el aumento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, golpes de calor, deshidratación, infecciones transmitidas por vectores (como el dengue o la malaria) y trastornos de salud mental asociados a fenómenos extremos y desplazamientos forzados (Organización Mundial de la Salud, 2021). A estos se suman impactos indirectos como la inseguridad alimentaria, el deterioro de la calidad del aire y del agua, y la alteración de la dinámica de enfermedades infecciosas.

En el ámbito laboral, estos efectos se expresan de forma especialmente intensa en trabajos al aire libre y físicamente exigentes. En este sentido, la Organización Internacional del Trabajo (OIT) estima que, para el año 2030, se perderán alrededor de 80 millones de empleos a tiempo completo debido a la reducción de la productividad causada por el estrés térmico, particularmente en sectores como la construcción, la agricultura y el transporte (Organización Internacional del Trabajo, 2019). El estrés térmico, entendido como el desequilibrio entre la carga calórica del entorno y la capacidad del cuerpo humano para disipar ese calor, genera una serie de efectos fisiológicos adversos, como agotamiento, calambres, disminución de la atención y, en casos graves, golpes de calor y muerte.

Este fenómeno compromete directamente la termorregulación, es decir, la capacidad del cuerpo para mantener una temperatura interna estable. Según el Instituto de Salud Pública de Chile (ISP), esta capacidad puede verse alterada por factores como temperaturas extremas, baja humedad relativa y alta concentración de contaminantes atmosféricos, lo que incrementa significativamente el riesgo para los trabajadores expuestos (Instituto de Salud Pública, 2019).

Temperaturas ambientales elevadas no solo provocan deshidratación y fatiga, sino que también reducen la capacidad cognitiva y el juicio, favoreciendo errores operacionales y accidentes. Por su parte, temperaturas muy bajas también representan un riesgo al disminuir la destreza manual, enlentecer los reflejos y afectar la movilidad muscular. La Dirección Meteorológica de Chile (DMC) define las olas de calor y de frío como el periodo de tiempo en el cual las temperaturas máximas y mínimas diarias superan el P90 y el P10 respectivamente, por tres días consecutivos o más. Asimismo, una humedad relativa baja (inferior al 30%) compromete la efectividad de la sudoración como mecanismo de enfriamiento corporal, intensificando los efectos del estrés térmico Organización (Organización Internacional del Trabajo, 2019)

A ello se suma la exposición a MP10, partículas de un diámetro igual o inferior a 10 micrómetros, que pueden penetrar profundamente en el sistema respiratorio y llegar al torrente sanguíneo. Según la OMS, estas partículas están asociadas a inflamación sistémica, fatiga, deterioro del estado de alerta y un aumento en la incidencia de enfermedades cardiovasculares y respiratorias (Organización Mundial de la Salud, 2021)

La interacción simultánea de estos factores —temperaturas extremas, humedad relativa y contaminación por MP10— puede generar efectos sinérgicos que aumentan significativamente el riesgo de sufrir un evento adverso durante la jornada laboral. Esta condición de riesgo ambiental complejo cobra especial relevancia en rubros como la construcción, donde la alta carga física incrementa aún más la vulnerabilidad a estos agentes.

Desde un enfoque de salud ocupacional, los riesgos ambientales pueden definirse como todos aquellos factores físicos, químicos o biológicos presentes en el entorno que, al interactuar con las condiciones laborales, impactan negativamente la salud de los trabajadores. Su manifestación ha cobrado creciente importancia en el contexto del cambio climático, con una clara evidencia del incremento en la frecuencia e intensidad de sus efectos negativos (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021).

Finalmente, en el marco normativo chileno, la Superintendencia de Seguridad Social (SUSESO) define un accidente del trabajo como aquel que ocurre por causa o con ocasión del trabajo y que provoca lesiones orgánicas, funcionales o psicológicas, incluyendo la muerte (Superintendencia de Seguridad Social, 2024).

### **3.2 Estado del arte**

Según el Censo del año 2017, la región metropolitana posee una población aproximada de 7.112.808 habitantes, con una densidad de 461,77 habitantes/km<sup>2</sup>, lo que la posiciona como la región con mayor densidad poblacional del país.

En términos del rubro de la construcción, esta región concentra el 43% del total de los permisos autorizados de edificación (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2023). Según la comisión nacional de productividad (CNP), este rubro representa el 7% del PIB y emplea cerca del 10% de los trabajadores de Chile, siendo uno de los sectores con una tasa alta de crecimiento (Comisión Nacional de Productividad, 2020).

Según la SUSESO en su Informe Anual de Salud y Seguridad en el Trabajo 2024 este sector tuvo una tasa de accidentabilidad de 2,8%, un 0,2% por encima del promedio. Esto significó un promedio de días perdidos 21,1%, además de esto la tasa de mortalidad por accidentes de trabajo en este sector fue de 5%. Todo ello viene con un costo asociado, ya sea por la pérdida invaluable de una vida humana o de los costos económicos que un día no laborado puede tener para el PIB.

En el rubro de la construcción los trabajadores están expuestos a factores que aumentan la posibilidad de accidentes laborales. En Chile tradicionalmente se reconocen los riesgos de altura física, espacios confinados, la exposición a polvos y el ruido, no obstante, esta visión convencional deja fuera otros elementos relevantes a los que, por la naturaleza propia del trabajo al aire libre, se está expuesto de forma constante, como las variaciones de temperatura, la humedad y de la calidad del aire. Particularmente en

Santiago ha habido un incremento continuado de la temperatura media ambiental de 0,14 °C por cada década desde 1914 y 9 de los 10 años más cálidos registrados han pasado durante este último siglo (Dirección Meteorológica de Chile, 2025) y según el último reporte de 2024 de gestión de episodios críticos de contaminación atmosférica para la región metropolitana en la región se constataron 19 episodios de alerta ambiental y 4 de pre-alerta para MP10 (SEREMI del Medio Ambiente, 2024).

La relación entre el aumento de temperatura su relación con un mayor riesgo de accidentes ha sido ampliamente estudiado, en 2021 se realizó un metaanálisis que incluyó 22 estudios entre 2005 y 2020 con datos de lesiones ocupacionales de 6 países y se encontró un aumento de riesgo de lesiones por cada 1°C de aumento de temperatura RR 1,010 (IC95%: 1,009–1,011) y un incremento de riesgo de lesiones durante olas de calor RR 1,174 (IC95%: 1,057–1,291) (Syeda et al., 2021). En estudios más recientes en Italia se buscó estimar el riesgo de lesiones laborales relacionadas con la exposición a temperaturas extremas al aire libre, donde se estimaron que 25.632 (IC 95%: 22.353-28.862) lesiones laborales son atribuibles al efecto del calor entre 2014 y 2019, ello significó una disminución de la productividad de un 6,5% aproximadamente, y los costos totales de compensación asociados se estimaron en más de 292 millones de euros entre 2014 y 2019, o el equivalente a 49 millones de euros por año (Marinaccio et al., 2025).

En otros sectores laborales, como la agricultura, también se ha estudiado la relación entre las altas temperaturas y los accidentes de trabajo. Por ejemplo, en Italia se registraron 2.050 lesiones atribuibles a la exposición a temperaturas elevadas, con un riesgo relativo (RR) de 1,13 (IC 95%: 1,08–1,18) (Di Blasi et al., 2023). El cambio climático está impactando negativamente el rendimiento laboral, se prevé un aumento sostenido de las temperaturas lo que reducirá progresivamente el tiempo útil de trabajo en muchas regiones. Se proyecta que hacia finales de siglo varias zonas cálidas podrían enfrentar una pérdida de capacidad laboral del 30 al 40 %, atribuible exclusivamente a la exposición a temperaturas extremas (Kjellstrom et al., 2016).

Se ha estudiado y descrito la relación entre la exposición a temperaturas extremas bajas y los accidentes en el trabajo. En un estudio en Italia evidenció que por cada 1°C de disminución en la temperatura del aire por debajo de -0,8°C significaba un aumento del 2,3% de los accidentes (IC 1,3% a 3,3%) (Morabito et al., 2014). En otro estudio basado en datos de compensación laboral entre 2014 y 2019 de forma contraria reportó que la exposición a temperaturas bajas extremas pudiese ser un factor protector: RR 0,901 (IC95%: 0,843–0,963). (Gariazzo et al., 2023)

Desde la gran niebla de Londres en 1952 la calidad del aire ha sido un tema de preocupación a nivel mundial (Greater London Authority, 2002) y el aire de Santiago es uno de los más contaminados del mundo, para el año 2024 habrían ocurrido 23 episodios de alerta ambiental solo en la región metropolitana (Dirección General de Aeronáutica Civil, 2024) y aunque ha ido en disminución de frecuencia sigue siendo una variable de interés. El sector de la construcción al desenvolverse al aire libre se encuentra constantemente expuesto a esta variable sin poder controlarlo y ya se ha relacionado con la presencia de accidentes, en un análisis descriptivo con enfoque ecológico realizado en

Madrid desde 2005 a 2013 se observó que un incremento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en la concentración diaria de  $\text{MP}_{10}$  se relaciona con un aumento del 2,5% en los accidentes laborales entre trabajadores al aire libre (Vega-Calderón et al., 2019). también se evidenció en un estudio observacional retrospectivo en Corea del Sur en los periodos de 2007 a 2019 Se observó que la probabilidad relativa de accidentes aumentaba con mayores concentraciones de  $\text{MP}_{10}$  (Lee et al., 2022).

En base a la evidencia descrita se hace suficiente considerar que estas variables interaccionan entre ellas, en un estudio observacional en Brasil Se encontró que tres componentes principales explican más del 90% de la variabilidad del  $\text{MP}_{10}$ . siendo afectada por la humedad relativa, la temperatura y la velocidad del viento (Nogarotto et al., 2020). En la literatura reciente, se reconoce la interacción sinérgica entre variables ambientales como un factor de riesgo aún subestimado en los modelos tradicionales de seguridad laboral. En un metaanálisis que incluyó 15 estudios en 15 ciudades en China en el periodo 2014-2016 la combinación de altas temperaturas con elevados niveles de  $\text{MP}_{10}$  se asocia con un aumento significativo en la mortalidad, particularmente en los días más cálidos (Cheng et al., 2017).

### **3.3 Modelos Predictivos en Prevención de Accidentes**

La implementación de modelos predictivos en salud ocupacional representa un avance hacia una prevención basada en datos. Estos modelos utilizan algoritmos estadísticos y aprendizaje automático (machine learning) para analizar grandes volúmenes de información histórica y detectar patrones de riesgo (Takala et al., 2021).

Ya existen experiencias exitosas en otros países donde se ha aplicado la inteligencia ambiental para la prevención. Por ejemplo, en Corea del Sur, se ha implementado un sistema de alerta por estrés térmico en obras de infraestructura que combina sensores ambientales y análisis predictivo, disminuyendo en un 18% los accidentes relacionados con condiciones climáticas (Lee et al., 2020). Estudios desarrollados en ciudades con características geográficas similares a Santiago —como Ciudad de México o Bogotá— muestran que los modelos predictivos que integran datos ambientales permiten anticipar condiciones de riesgo y activar alertas tempranas, mejorando la prevención en faenas de alto riesgo (García-Herrera et al., 2017, Medina-Ramón et al., 2006). En el caso del presente proyecto, se pretende aplicar un enfoque multivariado que integre datos meteorológicos y de calidad del aire con registros de accidentabilidad laboral en el sector construcción.

### **3.4 Brecha del Conocimiento y Aporte del Proyecto**

Se considera suficiente la evidencia para inferir que la exposición a estas variables ambientales aumenta el riesgo de accidentes en el entorno laboral, y que mediante la cuantificación y medición de cada variable, considerando su interacción, se puede realizar un modelo predictivo de accidentes. Aunque se han comentado los beneficios de estos avances, en Chile aún no se ha desarrollado un modelo predictivo que incorpore de manera simultánea la interacción entre  $\text{MP}_{10}$ , temperatura y humedad relativa como factores determinantes de la accidentabilidad laboral. La mayoría de los modelos se

limitan a variables individuales o a análisis retrospectivos que no permiten una acción preventiva eficaz.

Este proyecto propone llenar dicha brecha, incorporando una perspectiva climática y ambiental a la gestión de la seguridad laboral, generando evidencia local, validada con datos del periodo 2014–2024, para el desarrollo de estrategias preventivas oportunas y contextualizadas.

## **B. PROPUESTA METODOLÓGICA**

### **1. Diseño del estudio**

Este estudio emplea un diseño ecológico de series de tiempo, adecuado para analizar la relación entre variables ambientales y eventos de salud poblacionales en el tiempo. En particular, se evaluará la asociación entre la ocurrencia diaria de accidentes laborales en el rubro de la construcción en la Región Metropolitana de Santiago, y las variaciones diarias de temperatura media ambiental, concentración de material particulado MP10 y humedad relativa durante el período comprendido entre los años 2014 y 2024. Este diseño permite identificar patrones temporales, efectos rezagados y posibles relaciones no lineales entre las variables ambientales y la accidentabilidad laboral (Bhaskaran et al., 2013).

### **2. Población y área de estudio**

La población en estudio corresponde a los trabajadores del rubro de la construcción en la Región Metropolitana de Santiago, Chile. El análisis se enfocará en las 30 comunas con más de 100.000 habitantes, según los datos del Censo 2024. Estas comunas son: Santiago, Cerro Navia, Conchalí, El Bosque, Estación Central, Huechuraba, Independencia, La Cisterna, La Florida, La Granja, La Pintana, Las Condes, Lo Barnechea, Macul, Maipú, Ñuñoa, Peñalolén, Providencia, Pudahuel, Quilicura, Quinta Normal, Recoleta, Renca, San Miguel, Puente Alto, Colina, Lampa, San Bernardo, Buin y Melipilla.

### **3. Fuentes de datos**

Los datos sobre accidentes laborales se obtendrán de los registros oficiales de la Superintendencia de Seguridad Social de Chile (SUSESO), provenientes del sistema de atención médica obligatoria establecido por la Ley N°16.744. Esta base de datos recopila información de registros hospitalarios, atenciones realizadas por Organismos Administradores de la Ley (OAL), y empresas con administración delegada. Cada accidente laboral es reportado mediante una Declaración Individual de Accidente del Trabajo (DIAT), y calificado oficialmente a través de la Resolución de Calificación del Origen del Accidente (RECA).

La unidad de análisis será el conteo diario de accidentes laborales, diferenciados por género, registrados en empresas del rubro de la construcción durante el periodo 2014-2024.

Las variables meteorológicas serán obtenidas de dos fuentes principales:

- La Dirección Meteorológica de Chile (DMC), a través de estaciones ubicadas en la Región Metropolitana.
- El sistema ERA5-Land del Servicio de Cambio Climático de Copernicus, que entrega datos globales con resolución espacial de 9 km y resolución temporal horaria, diaria o mensual desde el año 1981.

Dado que los registros de temperatura no incluyen la hora exacta del accidente, se utilizará la temperatura media diaria (°C) como medida de exposición térmica. Se analizará la distribución anual de la temperatura para clasificar los valores extremos: se considerarán temperaturas extremas aquellas por encima del percentil 95 (P95) y por debajo del percentil 5 (P5), diferenciando los meses cálidos (octubre a marzo) de los fríos (abril a septiembre).

#### **4. Variables del estudio**

La variable de exposición utilizada en este estudio corresponde a la temperatura media diaria (en grados Celsius, °C) registrada en las comunas seleccionadas durante todo el período de análisis. Además, se incorporó la concentración diaria de MP10 como variable de ajuste en los modelos de análisis. Los datos de temperatura y MP10 se obtendrán de los registros del Servicio de CC de Copernicus (ERA5-Land), el cual proporciona información global con una resolución espacial de 9 km y temporal horaria, diaria o mensual desde 1981 en adelante (Copernicus Climate Change Service, s.f.).

Complementariamente, se incluyó la humedad relativa diaria como variable meteorológica adicional, cuyos registros serán obtenidos desde la DMC, a partir de estaciones ubicadas en la Región Metropolitana de Santiago.

La variable de resultado en este estudio consiste en el conteo diario de accidentes laborales registrados en el sistema de atención médica obligatoria según la ley N°16.744. Estos datos son obtenidos de la base de datos sobre accidentes del trabajo que proporcionó la SUSESO de Chile. La información recopilada en esta base de datos proviene de registros hospitalarios, atención brindada por los OAL (entidades empleadoras afiliadas al Instituto de Seguridad Laboral) y empresas con administración delegada

Estos datos se analizarán mediante una metodología cuasi poisson con modelamiento de datos, para ello es necesario en primer lugar suavizar los datos para establecer una relación entre cada una de las variables ambientales y los accidentes, con ello poder elaborar curvas estadísticas que determinen tendencia, con esto se prevé establecer una relación entre las variables estudiadas y los accidentes de trabajo.

#### **5. Procedimientos de análisis estadístico**

Antes del análisis principal, se realizará una exploración inicial de las bases de datos de temperatura y accidentes laborales con el fin de describir la distribución de las variables y detectar posibles inconsistencias.



Descarga y depuración de datos (datos ambientales y accidentes)	Analista de datos			✓	✓	✓								
Homologación y estructura de la base de datos	Analista de datos				✓	✓	✓							
Análisis exploratorio de datos descriptivos y series temporales	Ingeniero de datos				✓	✓								
Construcción de modelos DLNM (ajuste inicial)	Ingeniero de datos					✓	✓	✓						
Validación del modelo, análisis de sensibilidad y comparaciones (qAIC)	Ingeniero de datos						✓	✓	✓					
Interpretación de resultados y redacción de hallazgos	Rafael Espin Carlos Ordenes							✓	✓	✓				
Revisión crítica y mejoras del manuscrito científico	Rafael Espin Carlos Ordenes								✓	✓	✓			
Redacción y diseño del documento técnico final	Rafael Espin Carlos Ordenes								✓	✓	✓			
Preparación y envío a revista científica	Rafael Espin Carlos Ordenes									✓	✓	✓		



información pública y privada, para calcular el nivel de riesgo diario por comuna o faena.

En conjunto, estos impactos proyectados permitirán avanzar hacia una gestión preventiva más inteligente, dinámica y adaptada a los desafíos ambientales emergentes que enfrenta el trabajo al aire libre en Chile.

<b>Resultado esperado</b>	<b>Plazo estimado</b>
Comunicar recomendaciones de prevención de accidentes a autoridades (SUSESO, MINSAL) para gestión de políticas públicas	Primer cuatrimestre 2026
Modelos estadísticos	Primer semestre 2026
Publicación científica a congresos con temática relacionada y revistas científicas	Segundo cuatrimestre 2026
Recomendaciones para la comunidad basada en la prevención de accidentes basados en la interacción de variables meteorológicas	Segundo semestre 2026
Proposición de software predictivo de accidentes basado en datos públicos de estaciones meteorológicas y datos privados de cada empresa, con ello predecir en tiempo real el riesgo de accidentabilidad	Finales primer semestre 2026

#### **D. Abordaje ético y enfoque de género**

El diseño del estudio de tipo ecológico observacional implica que el análisis se realizará a nivel agregado, utilizando datos agrupados de fuentes oficiales, lo que permite observar patrones y relaciones en una población o comunidad sin intervenir directamente en ella. Este enfoque no requiere la intervención activa ni el reclutamiento de personas, ya que se basa en datos existentes y de acceso público o previamente recopilados, lo que minimiza los riesgos éticos asociados a la interacción con los participantes. Por lo tanto, este tipo de estudio no conlleva implicancias éticas relacionadas con el consentimiento informado o la protección de la privacidad individual, siempre y cuando se respete la

confidencialidad de los datos agregados utilizados y se garantice que la información no pueda ser vinculada a personas específicas.

Cuando este no fuese el caso, los datos serán manejados siguiendo estrictamente los principios establecidos en los criterios de Helsinki. Garantizamos que la gestión de la información será ética, responsable y transparente, asegurando que los datos utilizados serán anonimizados cuando sea necesario y que su uso se limitará únicamente a los fines del estudio. Además, nos comprometemos a obtener los permisos correspondientes a los organismos pertinentes y a cumplir con la normativa vigente en protección de datos, promoviendo siempre la integridad y el bienestar de las personas involucradas y afectadas por este trabajo de investigación.

Los resultados se entregarán tomando en consideración las diferencias y particularidades que puedan existir entre los distintos grupos de género en relación con la ocurrencia y las circunstancias de los accidentes laborales. De esta forma se podrá identificar posibles patrones, riesgos y factores específicos que afectan a hombres y mujeres en el contexto laboral, contribuyendo a un análisis más inclusivo y preciso. Además, se busca promover estrategias preventivas que consideren la diversidad de experiencias y necesidades de todos la población trabajadora.

## **Bibliografía y referencias**

1. Ministerio del Medio Ambiente. (2017, 24 de noviembre). Decreto N° 31.
2. Instituto Nacional de Estadísticas. (2025, enero). Encuesta Nacional de Condiciones Laborales (ENCLA) 2023: síntesis de resultados. Santiago, Chile: INE.
3. Dirección Meteorológica de Chile. (2025). Reporte anual de evolución del clima en Chile 2024. Santiago, Chile: DMC.
4. Ministerio del Medio Ambiente. (2024, septiembre). Reporte mensual: evolución de episodios críticos para MP10. Santiago, Chile: MMA.
5. Dirección Meteorológica de Chile. (2024). Informe anual - Monitoreo de olas de calor (diurna). Recuperado de <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/anualb/olaDeCalorAnualEstacion/330019/2024>
6. Instituto de Salud Pública. (2017, diciembre). Efectos en salud de la exposición a altas temperaturas por desempeño laboral a la intemperie. Santiago, Chile: ISP.
7. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). Sixth Assessment Report – Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Geneva, Suiza: IPCC.
8. Organización Mundial de la Salud. (2021). Air quality guidelines: global update 2021. Ginebra: OMS.
9. Organización Internacional del Trabajo. (2019). Working on a warmer planet: the impact of heat stress on labour productivity and decent work. Ginebra: OIT.
10. Instituto de Salud Pública. (2019). Norma Técnica N° 168 sobre exposición ocupacional al calor. Santiago, Chile: ISP.
11. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Geneva: IPCC.
12. Superintendencia de Seguridad Social. (2024). Compendio de normas del seguro de la Ley N° 16.744. Santiago: SUSESO.
13. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2023). Base de datos e Indicadores para el

- seguimiento de la Construcción en Chile 2023.
14. Comisión Nacional de Productividad. (2020). Productividad del sector de la construcción: diagnóstico, causas y propuestas. Santiago: CNP.
  15. SEREMI del Medio Ambiente Región Metropolitana de Santiago. (2024). Informe Final para la Gestión de Episodios Críticos de Contaminación Atmosférica... <https://airerm.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2025/01/INFORME-GEC-2024.pdf>
  16. Syeda, F., et al. (2021). Association between occupational heat exposure and injuries... *Environmental Science and Pollution Research International*, 28(6), 6525–6536.
  17. Marinaccio, A., et al. (2025). Outdoor occupational heat stress injuries and productivity losses... *Science of the Total Environment*.
  18. Di Blasi, C., et al. (2023). Occupational injuries and heat exposure in agriculture... *Science of the Total Environment*, 872, 162072.
  19. Kjellstrom, T., et al. (2016). Heat, human performance, and occupational health... *Annual Review of Public Health*, 37, 97–112.
  20. Morabito, M., et al. (2014). Air temperature exposure and outdoor occupational injuries... *Occupational and Environmental Medicine*, 71(10), 713–716.
  21. Gariazzo, C., et al. (2023). Cold weather and occupational injuries... *Environmental Research*, 231(Pt 2), 116053.
  22. Greater London Authority. (2002). Fifty Years On: The struggle against air pollution continues. London: GLA.
  23. Dirección General de Aeronáutica Civil. (2024). Reporte de calidad del aire en la Región Metropolitana: episodios críticos 2024. Santiago: DGAC.
  24. Vega-Calderón, L., et al. (2019). Air pollution and occupational accidents... *Environment International*, 125, 249–257.
  25. Lee, M., et al. (2022). Relationship between PM10 exposure and occupational injuries... *Science of the Total Environment*, 832, 155011.
  26. Nogarotto, D. C., et al. (2020). Principal components analysis of PM10 variability... *Atmospheric Pollution Research*, 11(5), 837–845.
  27. Cheng, F., et al. (2017). Interactive effects of air pollution and temperature... *Science of the Total Environment*, 576, 327–333.
  28. Takala, J., et al. (2021). Global Estimates of Occupational Accidents and Work-related Illnesses 2017. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(12), 6236.
  29. Lee, J., et al. (2020). Development of a Heat Stress Alert System... *Sustainability*, 12(23), 10041.
  30. García-Herrera, R., et al. (2017). Extreme summer temperatures in Iberia... *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1146(1), 66–79.
  31. Medina-Ramón, M., et al. (2006). The Effect of Ozone and PM10 on Hospital Admissions... *American Journal of Epidemiology*, 163(6), 579–588.
  32. Bhaskaran, K., et al. (2013). Time series regression studies... *International Journal of Epidemiology*, 42(4), 1187–1195.
  33. Copernicus Climate Change Service. (s.f.). ERA5-Land hourly data from 2001 to present. <https://cds.climate.copernicus.eu/doi/10.24381/cds.e2161bac>
  34. Gasparrini, A. (2014). Modeling exposure-lag-response associations... *Statistics in Medicine*, 33(5), 881–899.
  35. Gasparrini, A., et al. (2010). Distributed lag non-linear models. *Statistics in Medicine*, 29(21), 2224–2234.
  36. Gasparrini, A. (2011). Distributed lag linear and non-linear models in R... *Journal of Statistical Software*, 43(8), 1–20.