



PROYECTOS DE INNOVACIÓN

Modalidad Proyectos de Continuación de Innovación

Informe Final

“Optimización de plataforma de reconocimiento de factores de riesgo en la calificación de patologías músculo-esqueléticas de extremidades superiores en Estudios de puesto de Trabajo (EPT) vía Machine Learning”

ACHS 214-2018

Entidad ejecutora: Instituto de Neurociencia Biomédica

Innovador: Mauricio Cerda

Fecha de entrega: 3 de septiembre de 2019

Santiago de Chile

ANTECEDENTES DEL INNOVADOR

Nombre		Sexo		RUT
Mauricio Cerda		M		15.260.934-5
Dirección		Comuna		Región
Independencia 1027		Independencia		Metropolitana
Teléfono Fijo	Teléfono Móvil	Correo Electrónico		
(+56 2) 2978-9641	(+56 9) 8592-7543	mauriciocerda@med.uchile.cl		
Ocupación principal actual				
Profesor e investigador de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile				
Institución u Organización donde realiza ocupación principal actual				
Universidad de Chile				

Formación profesional y académica

Título Profesional	Ingeniero en Ciencias de la Computación		
Institución	Universidad de Chile	Año	2007
Grado Académico	Ph.D. en Informática.		
Institución	INRIA-Université Nancy	Año	2011

Experiencia relevante para el proyecto

Experiencia profesional relevante para el proyecto (últimos 5 años) (máximo 10 líneas)
<ol style="list-style-type: none"> 1. Investigador principal FONDECYT iniciación “Breaking the brightness constancy constraint in optical flow methods for in vivo biomedical imaging”, 2016-2019. Facultad de Medicina. Universidad de Chile. 2. Investigador asociado de Anillo-CONICYT “Visualization and Manipulation of Signals and Forces in Developing Tissue”, 2015-2018. PI: Prof. Miguel Concha. Facultad de Medicina. Universidad de Chile. 3. Investigador asistente. Instituto de Neurociencia Biomédica. 2015-2019. Proyecto ICM, P09-015-F. 4. Investigador principal FONDECYT post-doctoral “Structural and dynamical priors for the characterization of tubular networks in cell biology”, 2013-2016. Facultad de Medicina. Universidad de Chile. 5. Co-Investigador. FONDECYT. “Fast Computational Schemes for the Analysis of Morpho-Topological Data from High Throughput Microscopy”, 2013-2015, Prof. Steffen Hartel. Facultad de Medicina. Universidad de Chile. 6. Líder de proyecto “Entrenamiento domiciliario del balance a través de telemedicina y videojuegos educativos en personas con Enfermedad Cerebrovascular”, 2017-2018, Hospital Clínico Universidad de Chile.
Experiencia académica relevante para el proyecto (últimos 5 años) (máximo 10 líneas)
<p>2015 a la fecha. Profesor Asistente. Facultad de Medicina. Universidad de Chile.</p> <p>2016 a la fecha. Profesor part-time. Facultad de Ciencias Física y Matemáticas. Universidad de Chile.</p> <p>2016 a la fecha. Investigador adjunto. Instituto Milenio de Neurociencia Biomédica.</p>

EQUIPO DE TRABAJO

Nombre	Título	Especialización	Institución
Mauricio Cerda	Ingeniero Civil en Computación	PhD en Informática Especialista en procesamiento automático de señales y datos clínicos.	U. de Chile
Alejandro Lavado	Ingeniero Civil en Computación Investigador Alterno	Mg en Ciencias, mención computación Especialista en desarrollo de herramientas de informática médica	U. de Chile
Marcela Aguirre	Kinesiólogo Co-investigador	Mg en Informática Médica Especialista en análisis estadístico de datos clínicos	U. de Chile
Sebastián Reyes	Ing. Agrónomo PUCV. Coordinador de contrato. Encargado de transferencia.	Máster en Gestión de la Ciencia y la Innovación Especialista en desarrollo de innovaciones y modelos de negocio.	U. Politécnica de Valencia

RESUMEN

El presente informe corresponde al informe final del proyecto “*Optimización de plataforma de reconocimiento de factores de riesgo en la calificación de patologías músculo-esqueléticas de extremidades superiores en Estudios de puesto de Trabajo (EPT) vía Machine Learning. ACHS-214-2018*”, adjudicado por el Instituto de Neurociencia Biomédica a través del investigador Mauricio Cerda en la convocatoria de proyectos de innovación SUSESO 2018.

El objetivo general inicial de este proyecto de innovación presentado por el Instituto de Neurociencia Biomédica es dotar de características de *Machine Learning* a la plataforma actual de reconocimiento de patrones de movimiento repetitivo, postura forzada y postura mantenida en estudio de puestos de trabajo, mediante el análisis de registros históricos de EPT a nivel poblacional, como una herramienta cuantitativa de apoyo en la calificación de enfermedades laborales musculo-esqueléticas de extremidades superiores. Posterior a reuniones de trabajo con el equipos ACHS (Francisco Fukuda, Patricia Ferreira, Enero 2018), se orientó el proyecto hacia reconocer patrones en el proceso de determinación de un siniestro a partir de los datos del trabajador (edad, sexo, sector laboral, entre otros) y los tiempos exposición a riesgo medidos en el EPT. Esto con el fin de priorizar el trabajo de los comités evaluadores de siniestros de la ACHS, y de mejorar la calidad del proceso al detectar casos de alta probabilidad de ser (o no ser) siniestros laborales.

Los objetivos específicos del proyecto fueron los siguientes:

- Mejoras a plataformas web y APP para lograr entrega de variables críticas (tiempos de exposición a riesgo) de manera automática.
- Mejorar a la interacción gráfica de la plataforma web de EPTs.
- Ordenamiento y descripción estadística de datos clínicos de siniestros y EPTs del período 2016-2018.
- Análisis predictivo de variables predicto para el proceso de evaluación de siniestros.

Como resultado del proyecto, se cumplieron los objetivos planteado en acuerdo con la ACHS, realizando todos los objetivos específicos. Actualmente se cuenta con una plataforma web y APP apropiada para uso en entornos clínicos, y se entregan recomendaciones, para priorización y revisión de calidad del proceso de evaluación de siniestros ACHS.

A continuación, presentaremos en detalle las actividades realizadas y resultados obtenidos.

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	6
1.1.- Antecedentes	6
1.2.- Etapas previas del proyecto	6
1.3.- Definición del problema	8
2.- OBJETIVOS	11
3.- METODOLOGÍA.....	12
3.1.- Materiales y métodos	12
3.2.- Actividades planificadas	12
3.3.- Plataforma web y APP	13
3.4.- EPTs y Análisis de datos clínicos históricos	14
4.- RESULTADOS	16
4.1.- Plataforma web y APP	16
4.2.- EPTs y Análisis de datos clínicos históricos	19
5.- DISCUSIÓN	26
5.1.- Aportes del proyecto	26
5.2.- Nivel de logros de objetivos	26
5.3.- Resultados frente a antecedentes	26
6.- CONCLUSIONES	27
7.- REFERENCIAS	28
8.- ANEXOS	30

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- Antecedentes

El Compendio de Normas del Seguro Social de Accidentes del Trabajo 2018, establece el protocolo de patologías musculo esqueléticas superiores (MEES), junto a los formatos específicos para EPT. Esta norma define los EPT de la siguiente manera: *“consiste en el análisis detallado, mediante la observación en terreno, de las características y condiciones ambientales en que un trabajador en particular se desempeña y de las actividades, tareas u operaciones que realiza. Este instrumento tiene por objetivo identificar la presencia de factores de riesgo específicos condicionantes de la patología en estudio. En conjunto con otros elementos de juicio, el EPT permitirá al Comité de Calificación o al Médico del Trabajo, según corresponda, establecer o descartar la existencia de una relación de causalidad directa entre la patología y la actividad laboral del trabajador evaluado”*.

En la práctica, los EPT se realizan por observación de un profesional terapeuta ocupacional, kinesiólogo u otro con formación en ergonomía y su duración es aproximadamente 1 hora en todo el proceso; en ellos se desarrolla una entrevista y se registran (o a veces simulan) movimientos asociados a una microlabor y tareas que desempeña el trabajador y determina el ciclo de trabajo, registrando videos de 2-3 minutos de cada labor. Actualmente, estos estudios no incorporan medidas cuantitativas que apoyen al juicio profesional mediante observación, más allá de las que logre analizando el video posteriormente. Un aspecto a considerar, es que las personas no se comportan de forma habitual al ser observadas por un tercero; y adicionalmente, el hecho que en la práctica al profesional no le es posible realizar una observación lo suficientemente extensa para verificar la presencia del factor de riesgo de repetición de movimiento, postura mantenida o forzada de forma adecuada en trabajos donde este factor no es obvio (distintos a líneas de producción continuas o trabajos de 100% dedicación a digitación en computador, por ejemplo.

En el formato de EPT utilizado por los profesionales, debe informarse una serie de factores posturales, frecuencias de movimiento, movimientos asociados y tiempo de exposición efectivo (menos de 2 horas al día, 2 a 4 horas al día y más de 4 horas al día); pero dado que la EPT es observacional y se realiza por alrededor de una hora, no se cuentan con mediciones cuantitativas de dichos movimientos, ni tampoco el tiempo de exposición real en el contexto de una jornada de trabajo. El mismo formato de EPT, contiene una nota a modo de observación que dice “considerar que el tiempo de exposición efectivo corresponde al tiempo de realización de la tarea descontando todos los tiempo de pausas”; así, el tiempo de exposición es una estimación en base a la EPT ya que no existe una medición cuantitativa durante una jornada laboral completa o a lo menos media jornada.

1.2.- Etapas previas del proyecto

Este proyecto de continuidad es derivado del proyecto ACHS 210-2017 *“Uso de sensores inerciales como herramienta complementaria en Estudios de Puestos de Trabajo (EPT) en Chile, para la medición cuantitativa de movimiento repetitivo como factor de riesgo en la calificación de patologías músculo-esqueléticas de extremidades superiores”*, presentado por

el Instituto de Neurociencia Biomédica; dicho proyecto anterior tuvo un financiamiento de \$49,7 MM. Las etapas ya implementadas son las siguientes:

1. Revisión de dispositivos sensores inerciales de bajo costo existentes en el mercado.
2. Revisión de diferentes métodos y procedimientos para la evaluación de factores de riesgo asociados al trabajo con movimientos repetitivos de la extremidad superior.
3. Evaluación de dispositivos sensores inerciales para detección de movimientos repetitivos de articulaciones de muñeca, codo y hombro en condiciones controladas.
4. Estudio de disminución del número de sensores para detección de movimientos repetitivos de articulaciones de muñeca, codo y hombro en condiciones controladas.
5. Desarrollo de software de reconocimiento de patrones de movimiento repetitivo.

Con el presente proyecto, buscamos incorporar funcionalidad que hagan a la plataforma desarrollada efectiva en el contexto productivo, incorporando por ejemplo el envío automático de datos desde la APP (ver *Figura 1*) a la plataforma web (ver *Figura 2*). También se busca realizar correcciones en la medición automática de tiempos de exposición a riesgo detectados y a las capacidades gráficas de la plataforma web.

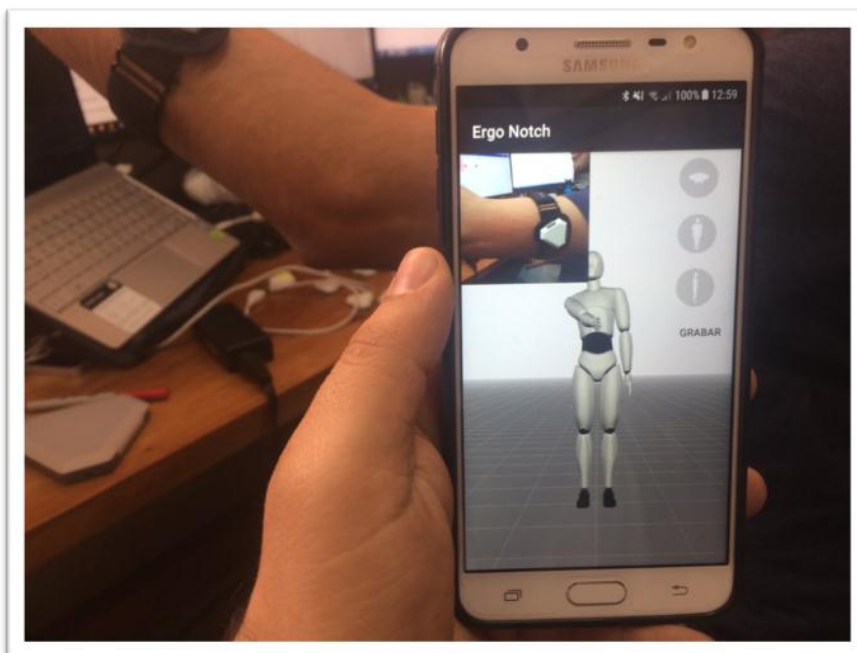


Figura 1. Estado de la APP de captura a inicios del proyecto. En la Figura se visualiza la ubicación de los sensores. La aplicación no contaba con envío automático de datos a un servidor central.

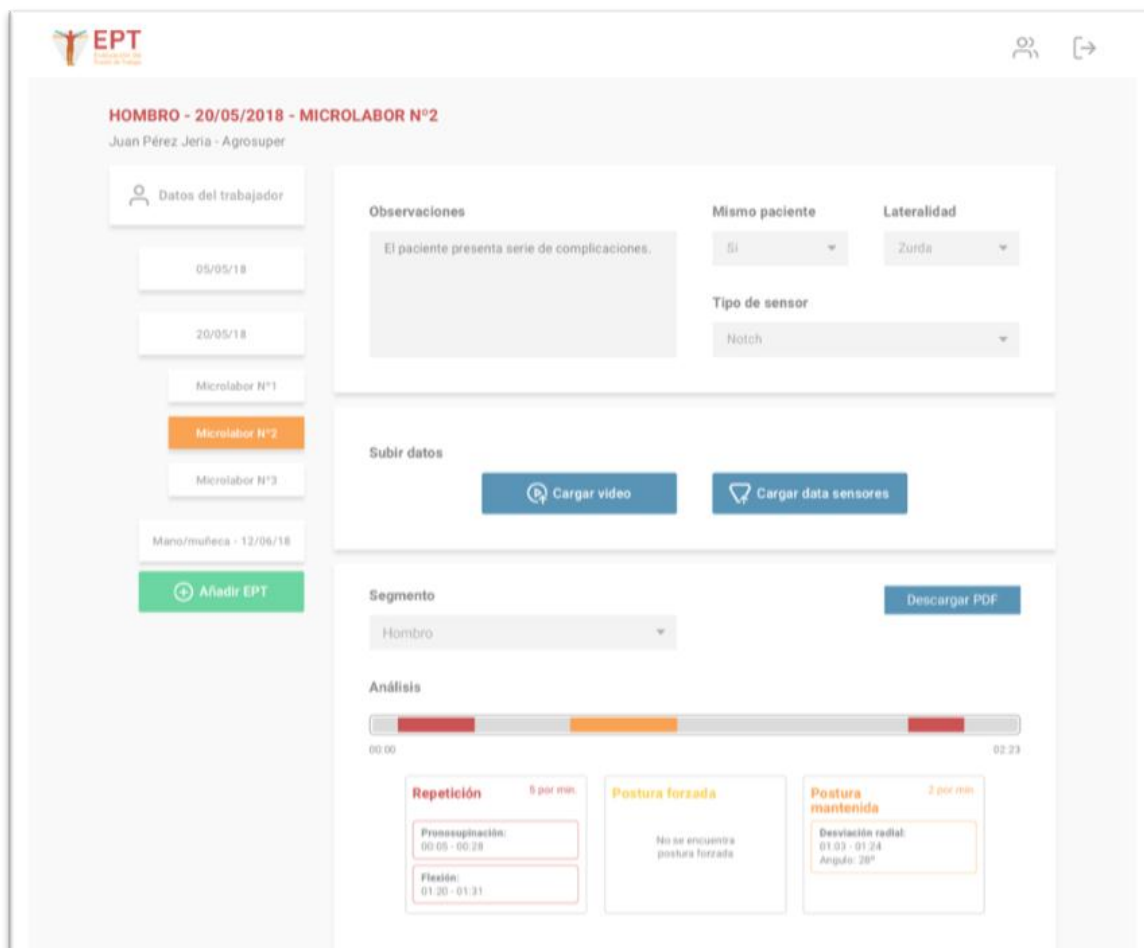


Figura 2. Estado de la plataforma web a inicio del proyecto. En la Figura se visualiza la plataforma web de visualización de EPT, que sólo contaba con carga manual, y donde se detectaron fallas en la detección y problema de visualización interactiva de datos.

1.3.- Definición del problema

Según establece el Decreto Supremo N°109 de 1968 del Ministerio del Trabajo y Previsión Social, se consideran como enfermedades profesionales a las lesiones de los órganos del movimiento, incluyendo trastornos de la circulación y sensibilidad, así como lesiones del sistema nervioso periférico, causadas de manera directa por agentes de riesgo específicos, tales como movimiento, vibración, fricción y compresión continuos, a los que se ve expuesto el trabajador en el desempeño de su quehacer laboral. Dicho decreto establece además que estas enfermedades pueden causar incapacidad temporal o permanente.

Compendio de Normas del Seguro Social de Accidentes del Trabajo 2018, que instruye a los organismos administradores del seguro de la ley N° 16.744 sobre el protocolo de normas de calificación del origen de las enfermedades denunciadas como profesionales, establece las siguientes las patologías musculoesqueléticas de extremidad superior como enfermedades profesionales, ver *Tabla 1*.

Segmento	Glosa de Diagnóstico
Dedos	Dedo en gatillo
Muñeca	Tendinitis de extensores de muñeca
	Tendinitis de flexores de muñeca
	Tendinitis de De Quervain
	Síndrome de Túnel Carpiano
Codo	Epitrocleitis
	Epicondilitis
Hombro	Tendinopatía de manguito rotador (MR)
	Tendinitis bicipital (TB)
	Bursitis Subacromial
Tabla 1. Patologías musculoesqueléticas de extremidades superiores determinadas como enfermedades profesionales. Fuente: SUSESO. Compendio de Normas del Seguro Social de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales. 2018.	

Según el informe de estadísticas de Seguridad Social de SUSESO 2017, durante 2016 se diagnosticaron 7.232 enfermedades profesionales en Chile, registrándose una tasa de enfermedades profesionales diagnosticadas de 0,15 por cada 100 trabajadores protegidos y un promedio de 51 días perdidos por éste tipo de enfermedades. Respecto a la distribución de los diagnósticos de las denuncias por enfermedades profesionales en 2016 (*Figura 3*), se aprecia que **el principal tipo corresponden a denuncias por enfermedades musculoesqueléticas (52%)**, seguida enfermedades mentales (29%), concentrando ambas más del 80% de las denuncias por enfermedades profesionales.

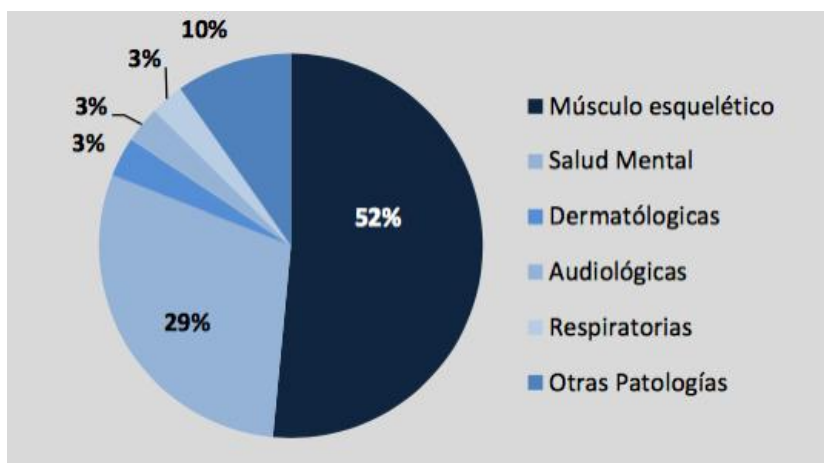


Figura 3. Distribución de los diagnósticos del total de DIEP calificadas. Mutualidades, 2016. Fuente: SUSESO. Informe de estadísticas de Seguridad Social. 2017.

En contraste, en el mismo documento, al analizar la calificación de las denuncias por enfermedades músculo-esqueléticas (*Figura 4*), durante 2016 **sólo el 11% de éstas patologías fueron calificadas como laborales**, porcentaje inferior al promedio del total de todas las denuncias (19%). Todas las demás denuncias de patologías determinadas (no incluye a “otras patologías”) fueron calificadas como laborales en un mayor porcentaje, las respiratorias en un 57%, las dermatológicas en un 56% , las audiológicas en un 53% y las de salud mental en un (27%).

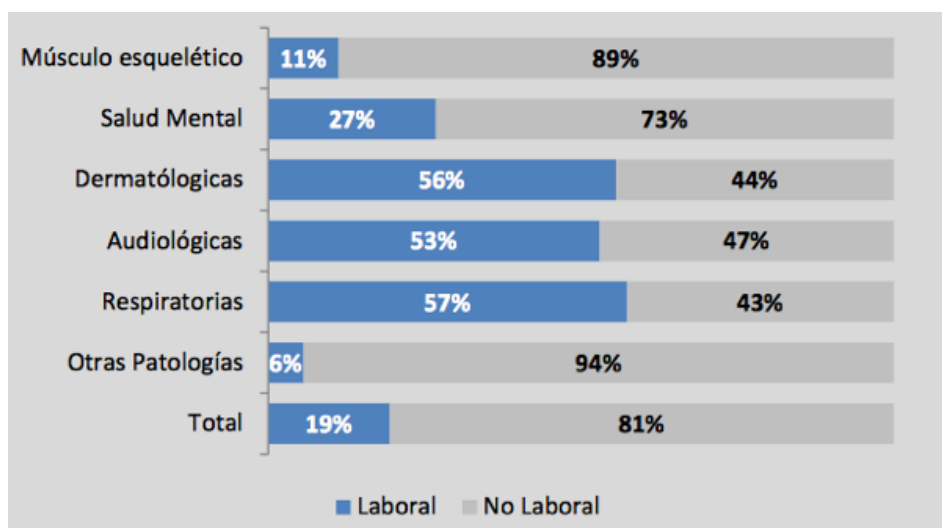


Figura 4. Diagnóstico de todas las DIEP calificadas y calificación laboral/no laboral. Mutualidades, 2016. Fuente: SUSESO. Informe de estadísticas de Seguridad Social 2017.

En base a las estadísticas de SUSESO, podemos concluir que la mayor cantidad de diagnósticos se relacionan con enfermedades musculoesqueléticas de extremidades superiores, pero sólo una baja proporción de ellos son calificados finalmente como enfermedades laborales. Esta situación se registra año a año en los informes estadísticos de SUSESO. Cabe preguntarse entonces si efectivamente esta situación es un hecho real dada la naturaleza de las lesiones y entornos laborales; o si por el contrario, se debe a que hacen falta más y mejores herramientas para la detección de factores de riesgos laborales que los relacionen con enfermedades musculoesqueléticas de extremidades superiores, existiendo una sub-dimensión del problema. Cualquiera sea el escenario, el contar con mejores herramientas cuantitativas en los EPT, significa avances en la objetivización de este estudio, con la consecuente generación de confianzas entre todos los participantes del sistema: SUSESO, mutualidades, empresas y trabajadores.

2.- OBJETIVOS

El objetivo general inicial de este proyecto de innovación presentado por el Instituto de Neurociencia Biomédica es dotar de características de *Machine Learning* a la plataforma actual de reconocimiento de patrones de movimiento repetitivo, postura forzada y postura mantenida en estudio de puestos de trabajo, mediante el análisis de registros históricos de EPT a nivel poblacional, como una herramienta cuantitativa de apoyo en la calificación de enfermedades laborales musculoesqueléticas de extremidades superiores.

Como ya se mencionó posterior a reuniones de trabajo con el equipos ACHS (Francisco Fukuda, Patricia Ferreira, enero 2018), se orientó el objetivo general del proyecto hacia reconocer patrones con en el proceso de evaluación de un siniestro a partir de los datos del trabajador (edad, sexo, sector laboral) y los tiempos de exposición a riesgo estimados con el EPT. Esto con el fin de priorizar el trabajo de los comités evaluadores de siniestros de la ACHS, y de mejorar la calidad del proceso al detectar casos de alta probabilidad de ser (o no ser) siniestros laborales.

Los objetivos específicos del proyecto fueron los siguientes:

- Mejoras a plataformas web y APP para lograr entrega de variables críticas (tiempos de exposición a riesgo) de manera automática.
- Mejorar a la interacción gráfica de la plataforma web de EPTs.
- Ordenamiento y descripción estadística de datos clínicos de siniestros y EPTs del período 2016-2018.
- Análisis predictivo de variables predictoras para el proceso de evaluación de siniestros.

3.- METODOLOGÍA

3.1.- Materiales y métodos

El piloto se realizará junto a la ACHS y ESACHS, quienes proveyeron de datos históricos de Estudios de Puestos de Trabajo (EPT). Por otra parte, ACHS entregó una de antecedentes clínicos anonimizados para los siniestros asociados a EPTs musculoesqueléticos de extremidades superiores.

Aspectos éticos

Este proyecto no incorpora la participación de personas. La información de EPT fue entregada resguardando la privacidad de los datos, ya que es de interés el análisis a nivel poblacional, no a nivel de individuo; para esto se han realizado las consultas de pertinencia a fiscalías internas de las instituciones que hacen entrega de la información y establecido procedimientos para garantizar la confidencialidad de la información. De esta forma el proyecto garantiza el cabal cumplimiento a las leyes 20.584 y ley 19.628 respectivamente.

3.2.- Actividades planificadas

La solución que se implementará es un producto (reconstrucción y mejoras de software para producción) y análisis de datos. Para esto, se realizó un análisis de registros históricos de EPT a nivel poblacional, es decir, mediante procesamiento de datos de diagnósticos asociados y mediciones de EPT y calificaciones de enfermedades laborales musculoesqueléticas de extremidades superiores.

Se coordinó la factibilidad de implementación en conjunto con la ACHS, tanto a nivel operativo como en proteger la privacidad de datos de información. Se ha coordinado la entrega de información consultando a fiscalía, y se establecieron procedimientos de resguardo de la privacidad de la información, donde la base de datos entregadas entrega será anónima, es decir sin RUT ni nombres.

Las actividades ejecutadas y su duración (planificada) son las siguientes

Actividad 1. Gestiones previas a la recepción de base de datos. Duración: 1 mes

En esta primera actividad se deben lograr acuerdos operativos con ACHS y ESACHS para la entrega de datos, realizar la modificación de archivos para estructurarlos de forma anónima y lograr la recepción de archivos anónimos de EPT y diagnósticos de los años 2016 al 2018.

Actividad 2. Generación de base de datos única. Duración 1 mes.

En esta etapa se consolida y estructura la información y se realiza la limpieza de datos. Al final de la etapa se debe contar con una única base de datos operativa para comenzar la generación del modelo. En esta actividad se incorporó los datos clínicos de siniestros para realizar los análisis.

Actividad 3. Desarrollo de nuevas funcionalidades de la plataforma. 10 meses.

Desarrollo *back* y *front-end*. Nuevas funcionalidades en visualización de datos e informes. Preparación para la integración del modelo e integración del modelo.

Actividad 4. Generación de ambiente de trabajo. Duración 2 meses.

Generación del espacio de trabajo donde todos los involucrados interactúan tanto en el desarrollo del modelo como en su implementación. Se debe establecer si la plataforma será de tipo *opensource* o licenciado.

Actividad 5. Generación de modelo e implementación. Duración: 5 meses.

Testeos previos. Primer desarrollo de algoritmo y entrenamiento. Interacción de modelo e implementación. Obtención del modelo final e implementación final.

Actividad 6. Presentación de la tecnología en Congreso internacional de salud laboral.

3.3.- Plataforma web y APP

Se plantea una arquitectura cliente-servidor, en donde tanto la plataforma web, como el APP de captura de datos se comunican con el servidor utilizando un API REST, como se ilustra en la *Figura 5*.

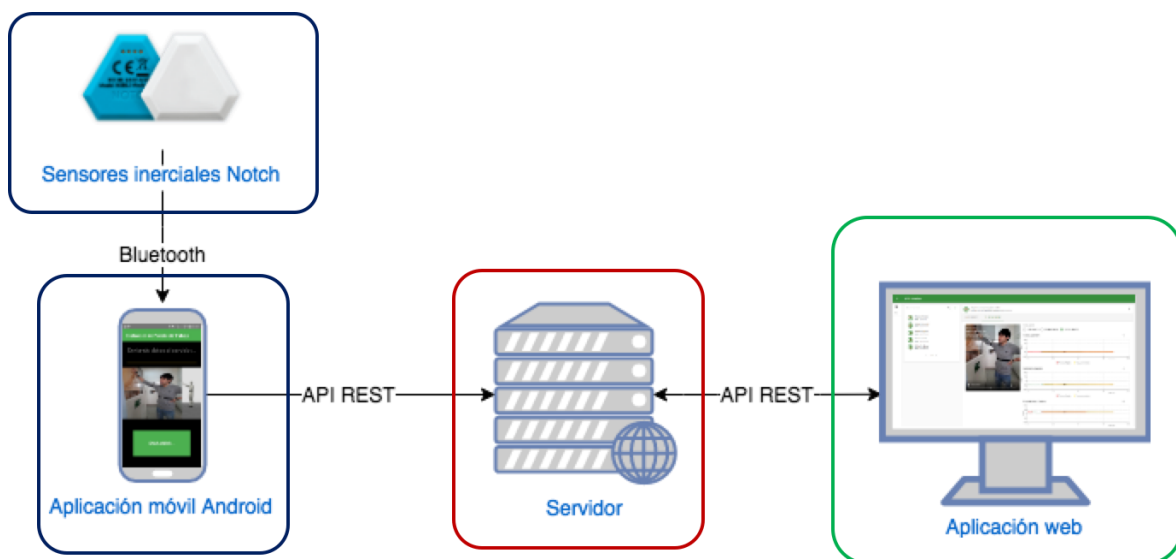


Figura 5. Arquitectura y componentes del sistema. Componentes del sistema, donde las flechas ilustran el flujo de información.

Se decidió extender la APP, partiendo de la implementación existente, incluyendo opciones de sincronización para identificar el paciente para quien se está realizando la captura de datos. La plataforma web se decide re-implementar, mejorando la experiencia usuario e incorporando funcionalidades claves, tales como corregir el etiquetado de movimiento, y generando los tiempos de exposición a riesgo del EPT. La plataforma web se implementó en JS / REACT y el servidor en JS, con persistencia utilizando un modelo mongoDB.

3.4.- EPTs y Análisis de datos clínicos históricos

Base de datos EPTs

Durante los primeros 3 meses del proyecto se entregaron los EPTs del período 2016-2018 mediante la nube de la ACHS en formato PDF. La primera tarea de extracción de datos, fue identificar los EPTs musculoesqueléticos de extremidades superiores y lograr la capacidad de extracción de datos en los múltiples formatos (ver *Figura 6*) de manera automática. Lo anterior se logró mediante scripts automáticos, y parte de los resultados es la entrega de las variables de interés ordenadas y sistematizadas.

En total se procesaron aproximadamente 40.000 archivos PDF, de los cuales se procesaron 14.231 (musculoesqueléticos), y de los cuales 5.417 se trataba de un paciente único. Las variables que se extrajeron de los EPTs fueron: tipo EPT, región, antigüedad laboral, tiempo total exposición (TTE), tiempo total alto riesgo - fuerza (TEEF), tiempo total alto riesgo - postura (TEEP), tiempo total de la jornada, porcentaje de exposición de jornada (TTE / tiempo total de jornada).

ESTUDIO DE PUESTO DE TRABAJO SEGMENTO CODO

EVALUACIÓN DE PUESTO DE TRABAJO
CODO
Epicondilitis - Eptrocleititis

ANTECEDENTES GENERALES

Razón Social: _____
 Contacto empresa: _____
 Dirección (Calle, Nº): _____
 Ciudad: Santiago
 Comuna: _____
 Trabajador Sr. (s): _____
 Cargo actual: Operaria
 Antigüedad en puesto de trabajo: 8 meses

NT Adherente: _____ Fecha EP: _____ DL: _____
 Ciudad: Santiago
 Región: Metropolitana
 RUT: _____

Otras labores que ha realizado anteriormente en la misma empresa
 1.- No registra otras labores en la misma empresa
 2.- _____

Otras labores que ha realizado anteriormente en otras empresas
 1.- No registra
 2.- _____

EMPRESA

Razón Social: _____ RUT empresa trab: _____ Fecha: 30.11.2018
 Contacto empresa: _____ RUT emp principal: _____
 Dirección del Centro de Trabajo: Calle y Nº _____ Comuna: _____ Ciudad: Santiago
 Región: Metropolitana

TRABAJADOR

Nombre y Apellidos: _____ RUT: _____
 Ocupación: Auxiliar de aseo
 Antigüedad en Ocupación actual: 2 meses

ANTECEDENTES DEL TRABAJO

Turnos	Hr. Ingreso	Hr. Salida	Hrs. Jornada	Hrs. Extras	Total Horas
Día			0,00		0,00
Tarde	13:00	21:00	8,00	0,00	8,00
Noche			0,00		0,00
Especial			0,00		0,00

Turnos	L	M	M	J	V	S	D
Día							
Tarde	x	x	x	x	x	x	
Noche							
Especial							

Figura 6. EPTs y sus formatos. En la figura se ilustra dos de los múltiples de los formatos en que los EPTs en el período 2016-2018 se encuentran disponibles.

Base de datos clínica

Con el fin de estudiar los factores más importantes que determinan si un siniestro se considera como enfermedad laboral o no, es que se estudió un reporte/tabla generado por la ACHS. Este reporte consta de 67.426 filas, las que están asociadas a 18.573 siniestros únicos. La mayor dificultad de esta tabla, es que no se conoce la historia de la calificación de cada siniestro, sólo como fue calificado finalmente. Con el fin del estudio estadístico se tomaron las siguientes variables: edad, sexo, diagnóstico principal, tipo de jornada, año, tipo de siniestro, ID Siniestro y sector productivo. Esta última variable se entregó de manera separada y se integró finalmente. En la *Figura 7*, se ejemplifican los datos disponibles.

EXAMEN FISICO	TEXTO_E	EDAD_A	SEXO	ULTIMA_CALIFICACION	MA	DIAGNOSTICO_PRINCIPAL	JORNADA	JORNADA	JORNADA	ANO	OCUPACION	EPISODIO	PACIENTE	SINIESTRO	ULTIMA_TIPO_COBERTO
1 SIN AVO, SIN LIMITAC		32	F	Pronunciamiento SUSE	?	EPICONDILITIS DERECHA	190000	70000	Turno Rotativo	2017	MAESTRO COC	1962726	1003097717	5688333	Acoge Siniestro
2 sin avo, sin equimosi		32	F	Pronunciamiento SUSE	?	EPICONDILITIS DERECHA	190000	70000	Turno Rotativo	2017	MAESTRO COC	1962726	1003097717	5688333	Acoge Siniestro
3 Codo derecho: AVO-		32	F	Pronunciamiento SUSE	?	EPICONDILITIS DERECHA	190000	70000	Turno Rotativo	2017	MAESTRO COC	1962726	1003097717	5688333	Acoge Siniestro
4 Sin dolor a la palpaci		32	F	Pronunciamiento SUSE	?	EPICONDILITIS DERECHA	190000	70000	Turno Rotativo	2017	MAESTRO COC	1962726	1003097717	5688333	Acoge Siniestro
5 no		32	F	Pronunciamiento SUSE	?	EPICONDILITIS DERECHA	190000	70000	Turno Rotativo	2017	MAESTRO COC	1962726	1003097717	5688333	Acoge Siniestro
6 Examen fisico genera		32	F	Pronunciamiento SUSE	?	EPICONDILITIS DERECHA	190000	70000	Turno Rotativo	2017	MAESTRO COC	1962726	1003097717	5688333	Acoge Siniestro
7 Codo derecho: Dolor		32	F	Pronunciamiento SUSE	?	EPICONDILITIS DERECHA	190000	70000	Turno Rotativo	2017	MAESTRO COC	1962726	1003097717	5688333	Acoge Siniestro
8 dolor leve a la palpaci		32	F	Pronunciamiento SUSE	?	EPICONDILITIS DERECHA	190000	70000	Turno Rotativo	2017	MAESTRO COC	1962726	1003097717	5688333	Acoge Siniestro
9 Leve molestia a la pa		32	F	Pronunciamiento SUSE	?	EPICONDILITIS DERECHA	190000	70000	Turno Rotativo	2017	MAESTRO COC	1962726	1003097717	5688333	Acoge Siniestro
10 Codo derecho: sin av		32	F	Pronunciamiento SUSE	?	EPICONDILITIS DERECHA	190000	70000	Turno Rotativo	2017	MAESTRO COC	1962726	1003097717	5688333	Acoge Siniestro
11 INGRESA POR SUS PR		32	F	Pronunciamiento SUSE	?	EPICONDILITIS DERECHA	190000	70000	Turno Rotativo	2017	MAESTRO COC	1962726	1003097717	5688333	Acoge Siniestro
12 CODO DER: NO AVO,		32	F	Pronunciamiento SUSE	?	EPICONDILITIS DERECHA	190000	70000	Turno Rotativo	2017	MAESTRO COC	1962726	1003097717	5688333	Acoge Siniestro
13 no tiene dolor a la pa		32	F	Pronunciamiento SUSE	?	EPICONDILITIS DERECHA	190000	70000	Turno Rotativo	2017	MAESTRO COC	1962726	1003097717	5688333	Acoge Siniestro
14 CODO DERECHO SIN		32	F	Pronunciamiento SUSE	?	EPICONDILITIS DERECHA	190000	70000	Turno Rotativo	2017	MAESTRO COC	1962726	1003097717	5688333	Acoge Siniestro
15 na		39	F	Calificación Médica	?	TENDINITIS BICIPITAL HOME	153000	73000	Lunes a Sabado	2016	REPONEDORA	1569071	1005540002	5542426	No Acoge Siniestro
16 na		39	F	Calificación Médica	?	TENDINOPATIA DEL SUPRAE	153000	73000	Lunes a Sabado	2016	REPONEDORA	1569071	1005540002	5542426	No Acoge Siniestro
17 Examen fisico genera		39	F	Calificación Médica	?	TENDINOPATIA DEL SUPRAE	153000	73000	Lunes a Sabado	2016	REPONEDORA	1569071	1005540002	5542426	No Acoge Siniestro
18 Examen fisico genera		39	F	Calificación Médica	?	TENDINITIS BICIPITAL HOME	153000	73000	Lunes a Sabado	2016	REPONEDORA	1569071	1005540002	5542426	No Acoge Siniestro
19 Dolor en codo al palpi		39	F	Calificación Médica	?	TENDINOPATIA DEL SUPRAE	153000	73000	Lunes a Sabado	2016	REPONEDORA	1569071	1005540002	5542426	No Acoge Siniestro
20 Dolor en codo al palpi		39	F	Calificación Médica	?	TENDINITIS BICIPITAL HOME	153000	73000	Lunes a Sabado	2016	REPONEDORA	1569071	1005540002	5542426	No Acoge Siniestro
21 PA 142/78 \nFC 78		36	M	Calificación Médica	X	EPICONDILITIS CODO DERECH	190000	70000	Turno Rotativo	2017	MECANICO	2305606	1001691169	5804991	No Acoge Siniestro
22 PA 142/78 \nFC 78		36	M	Calificación Médica	X	DOLOR DE CODO EN ESTUDI	190000	70000	Turno Rotativo	2017	MECANICO	2305606	1001691169	5804991	No Acoge Siniestro
23 Palpacion doloroso i		36	M	Calificación Médica	X	DOLOR DE CODO EN ESTUDI	190000	70000	Turno Rotativo	2017	MECANICO	2305606	1001691169	5804991	No Acoge Siniestro

Figura 7. Tabla de datos clínica disponibles. En la figura se marca en amarillo toda la información disponible para un mismo siniestro. En azul se marcan textos libres que no se utilizan de manera generalizada.

Integración de bases de datos y supuestos

Para integrar la base de datos de EPTs y la tabla de datos clínicos se utilizó el ID Siniestro. Sin embargo, pueden existir múltiples EPTs para un mismo siniestro, en este caso se utilizó el EPTs más directamente asociado al diagnóstico principal, siguiendo la Tabla 1. Si bien existen patologías donde más de una articulación está involucrada, en general una articulación suele ser la más relevante. Con esto la base de datos de estudio es de 3.638 siniestros únicos, cada uno con un EPT principal asociado.

4.- RESULTADOS

4.1.- Plataforma web y APP

Aplicación android (APP)

En el APP se realizaron mejoras para facilitar el uso, guiando al usuario en cómo ubicar los sensores y entregando retroalimentación del proceso, como se ilustra en la *Figura 8*. A continuación, se incorporó el ingreso del ID Sinistro, lo que permite conectar la información de los sensores, con los datos en el servidor (ver *Figura 9*).

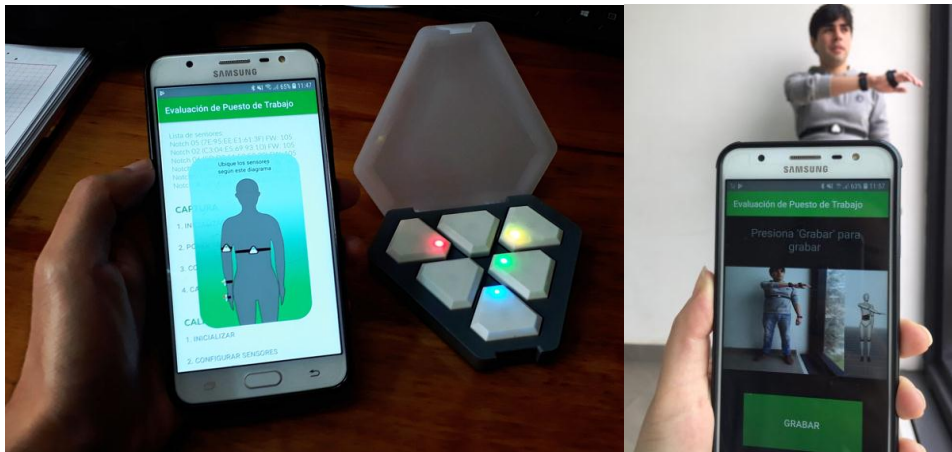


Figura 8. APP y ubicación de sensores. En la figura se muestra como se guía mediante colores la ubicación de los sensores (izquierda), y se verifica la correcta postura con una animación (derecha).

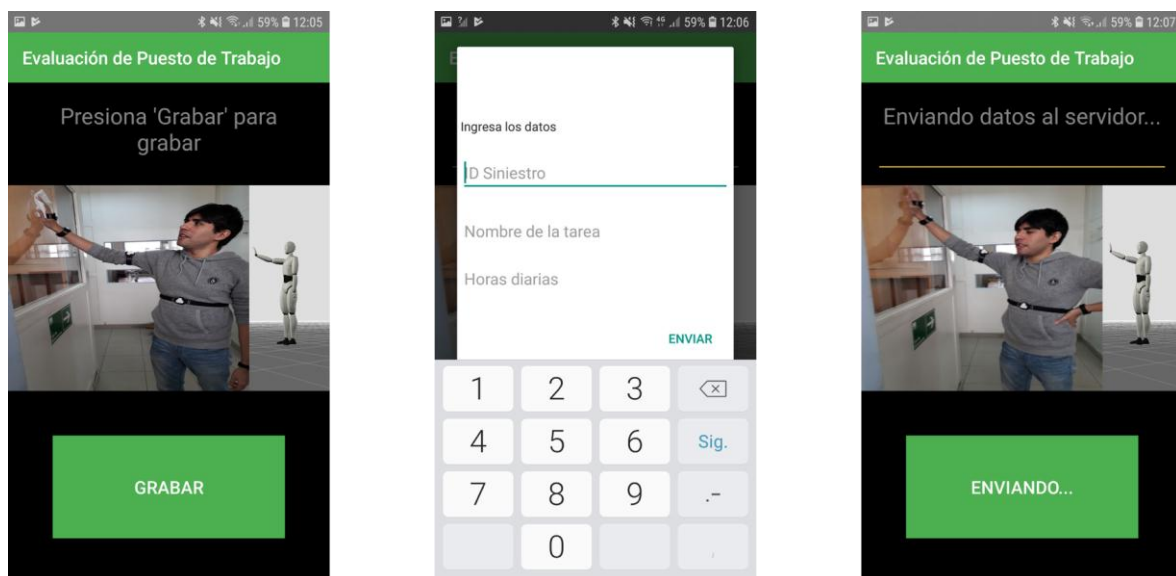


Figura 9. Ingreso de ID siniestro y envío de datos. En la figura, el operador de la APP se le pide ingresar el ID Sinistro, previo al envío de datos (video y sensores).

Plataforma web

La plataforma web y el servidor implementado recuperan directamente los datos capturados por los sensores (IMU) y los deja disponibles para estudio del siniestro. La nueva interfaz permite una conexión directa entre información de sensores con el video, facilitando la navegación. En la *Figura 10* se ilustra como la APP creó automáticamente un EPT, asoció el video y detectó los eventos de riesgo en múltiples articulaciones superiores.

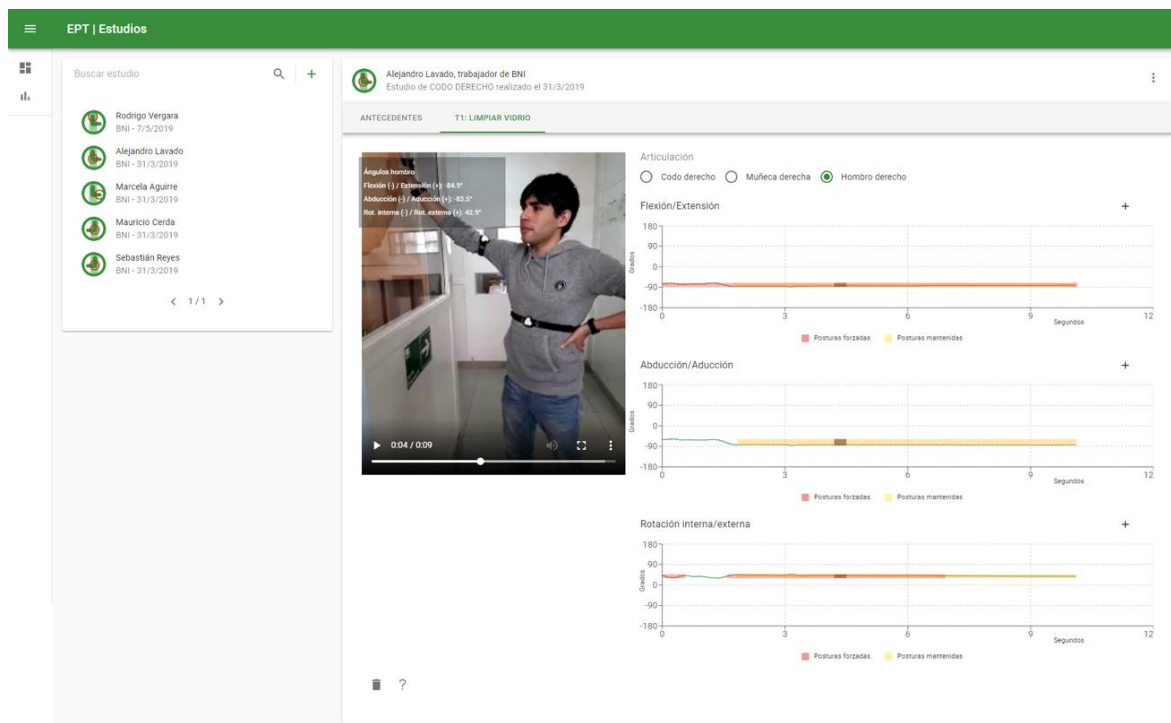


Figura 10. Visualización de datos EPT. En la figura se visualiza el listado de pacientes y para una tarea (Limpiar vidrio) creada en el APP los datos capturas y el análisis automático de estos.

Las variables que se generan finalmente con el EPT son calculadas automáticamente (con posibilidad de corrección manual si el operador lo requiere), como se puede apreciar en la *Figura 11*. El sitio web se encuentra disponible en www.eptbni.cl (utilizar navegador chrome, usuario *demo@eptbni.cl*, clave *ept2019*). Cabe destacar que se realizó una evaluación de la cantidad y duración de los tiempos de exposición detectados automáticamente, versus la medición manual de 2 expertos y se realizó la presentación de resultados en una conferencia científica internacional (ver Anexo 8.1).

Datos del trabajador

Nombre: Alejandro Lavado
 Género: MASCULINO

RUT: 16748970-2
 Lateralidad: DERECHA

Datos ocupacionales

Empresa: BNI
 Descripción:

Ocupación:

Datos del estudio

ID Siniestro: 464

Fecha: 31/3/2019

Tipo: HOMBRO DERECHO

Observaciones:

Tareas

Nombre de tarea	Horas diarias	Minutos diarios exposición mov. forzado	Minutos diarios exposición mov. mantenido
demo ventana	2	11.5	78.3
limpiar ventaba	1	17.9	40.3
apilar sillas	1	6.9	30.8
barrer	1	4.6	26
nada	6	7.8	323.7
papeles	1	3.8	37.3
PC	5	5.2	270.3

Figura 11. Generación de tiempos de exposición a riesgo. En la figura se muestra una tabla con el EPT generado para las diferentes tareas con los tiempos de exposición, como parte de la plataforma web.

4.2.- EPTs y Análisis de datos clínicos históricos.

Descripción general

El 93% de los datos corresponden a la región metropolitana, por lo que se focalizó el análisis en esta área. La mayor cantidad de siniestros están asociados a patologías de codo y mano (33% y 32%), le sigue hombro con 22%, y finalmente mano (13%). Por otra parte, la gran mayoría de los siniestros son evaluados por los comités ACHS (3.530), y sólo un número menor (107) son evaluados por la SUSESO. En un análisis posterior, se identificaron 56 de los 107 siniestros evaluados por SUSESO, y de estos 47 casos la SUSESO revirtió la decisión, es decir, un comité ACHS calificó primero como paciente no ley y luego la SUSESO los calificó como enfermedad profesional. Cabe señalar que el porcentaje de siniestros identificados como laborales por los comités ACHS es de 0.99% y por la SUSESO de un 62.8%. Los resultados anteriores se ilustran en la *Figura 12*.

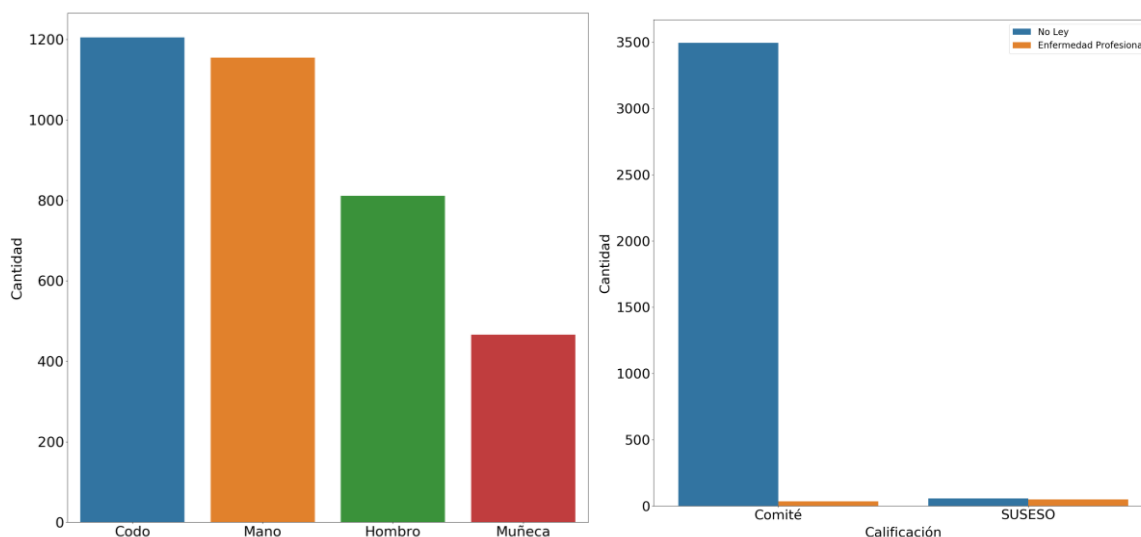


Figura 12. Articulaciones y siniestralidad laboral. Frecuencia de siniestros por articulación (izquierda) y agrupación de siniestros según quien realiza la evaluación y su resultado final (no ley o enfermedad profesional).

Análisis por variables

A continuación se describe el conjunto de datos, evaluando por variables, ver *Figura 13*. Cabe destacar que por sí sola la edad del trabajador no parece indicar si un siniestro es laboral o no. En cuanto al sexo, existe más hombres asociados a siniestros y estos son rechazados en mayor medida. En cuanto al tipo de jornada, no aparece mayor diferencia entre siniestros acogidos por ley, o no. En cuanto a la antigüedad laboral, en promedio los siniestros acogidos por ley son presentados por trabajadores con mayor antigüedad.

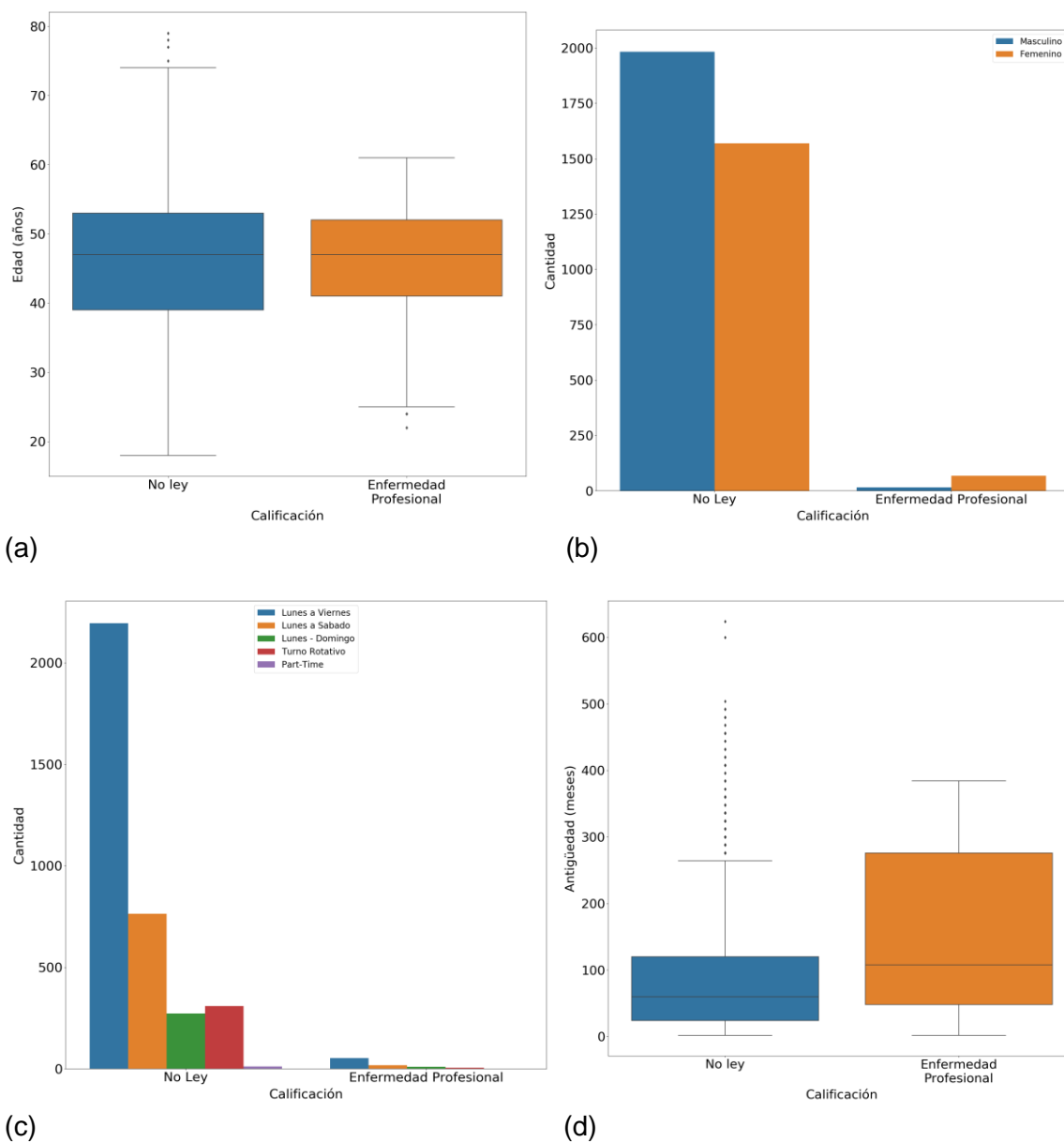


Figura 13. Comparación de variables clínicas. En la figura se explora la edad (a), sexo (b), tipo de jornada laboral (c), y antigüedad laboral (d), y la distribución de los siniestros.

Por otra parte, en la Figura 14 se resume la exploración del rubro productivo y del % de jornada. En cuanto al sector productivo, se puede ver que el sector industrial es segundo en la cantidad de siniestros no-ley, pero primero en aquellos acogidos como laborales. Respecto al porcentaje de exposición, tanto para los casos no ley como los de enfermedad laboral, el porcentaje de exposición a riesgo (Tiempo Total Exposición/Tiempo Jornada) es mayor al 60%. En los casos no ley se observa mayor dispersión, sin diferencias entre los promedios de ambos grupos.

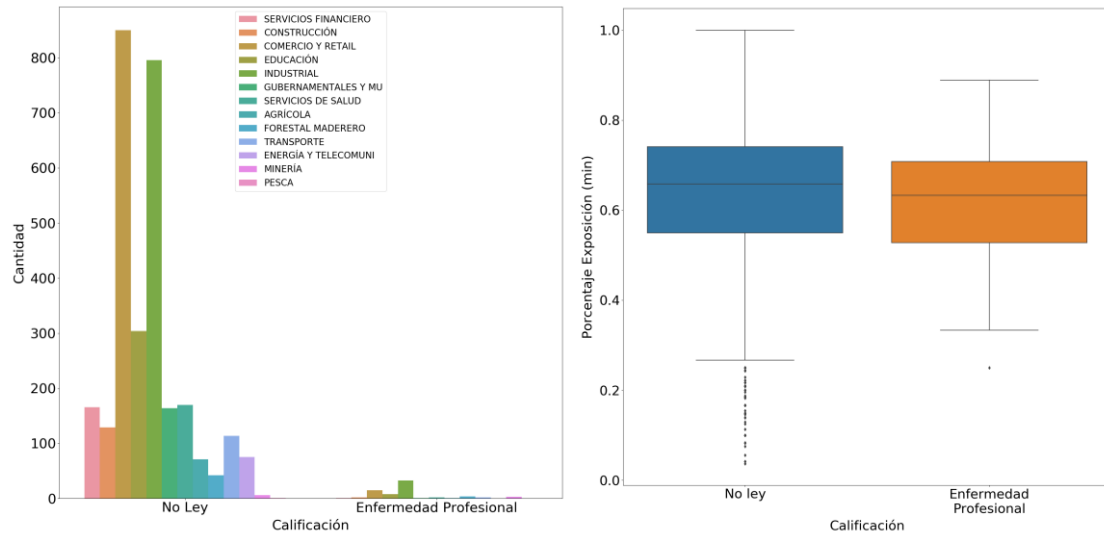
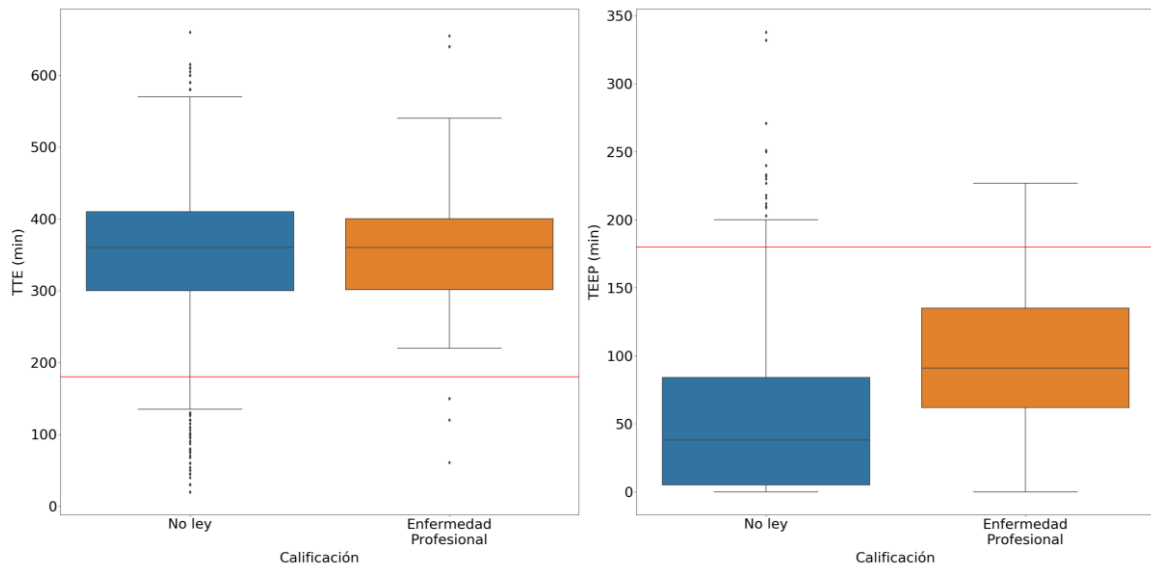


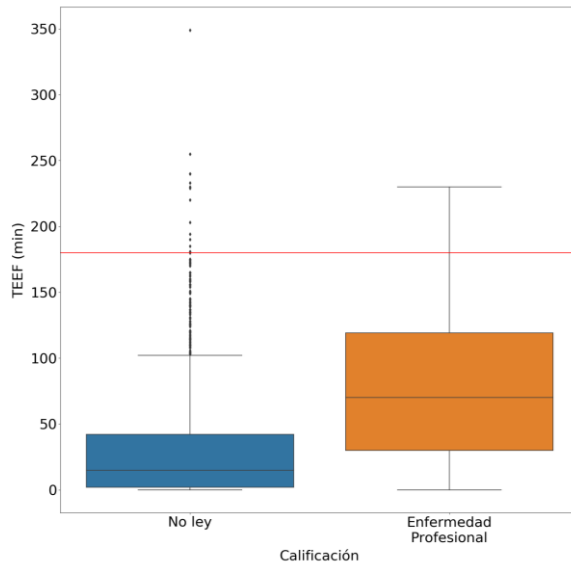
Figura 14. Sector productivo y porcentaje de exposición. Se agrupan los siniestros por sector productivo (izquierda) y el porcentaje de exposición de la jornada (derecha).

En cuanto a las variables asociadas a las mediciones del EPTs el resumen de estas se puede visualizar en la Figura 15. Cabe destacar que los tiempos de exposición a factores de postura y fuerza tienen un marcado promedio mayor en el caso de siniestros laborales, sin embargo hay una importante dispersión de la muestra.



(a) Tiempo total exposición

(b) Tiempo exposición - postura



(c) Tiempo exposición - fuerza

Figura 15. Mediciones del EPT. En la figura se representan la distribución de las mediciones, agrupadas por aquellos siniestros que no fueron declarados como ley, y aquellos identificados como laborales. La línea roja es una referencia que entrega ACHS como valores de corte. Tiempos de exposición superiores a esta referencia se consideran típicamente de riesgo.

Análisis predictivos

Luego de evaluar múltiples clasificadores (SVM, MLP, Random Forest, Regresión logística, James et al 2015), se utilizó un árbol de decisión para obtener una mejor capacidad predictiva. Al considerar todas las variables se obtiene una precisión del 80% (10-fold cross-validation), sin embargo, el problema es altamente desbalanceado, i.e. existen muchos más siniestros que no son laborales, ver Figura 16. En la misma figura se identifican las variables que más contribuyen en esta predicción, donde las primeras 5 corresponden a los tiempos de exposición postura/fuerza, la antigüedad laboral, el sector productivo, y el tiempo total de exposición. Ver Figura 16. Es decir, 3 de las 5 variables con mayor poder predictivo son mediciones del EPT. El árbol de decisión propuesto se presenta en el Anexo 8.2.

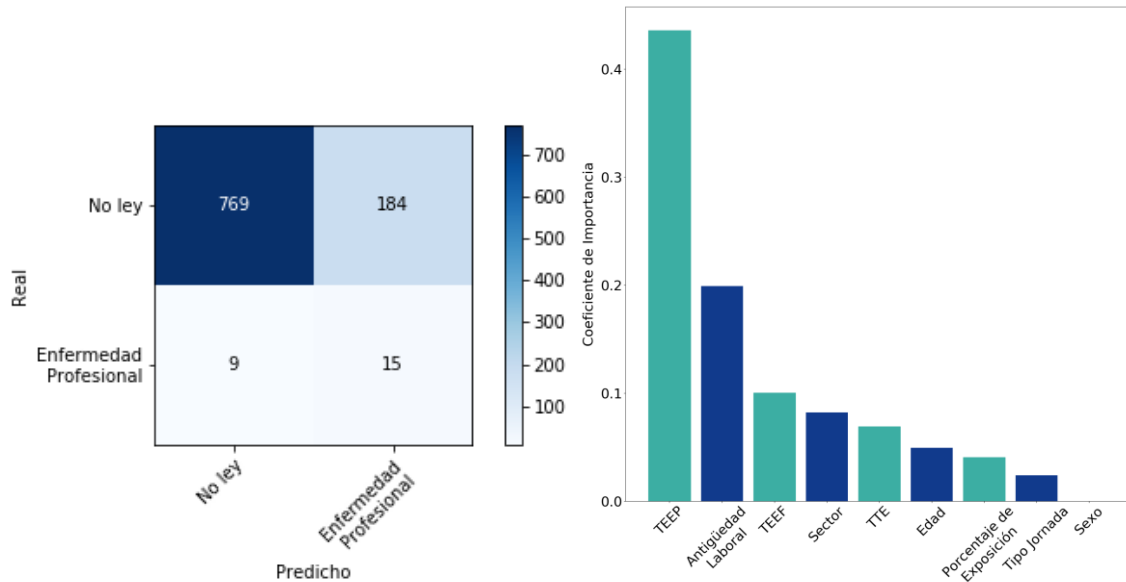
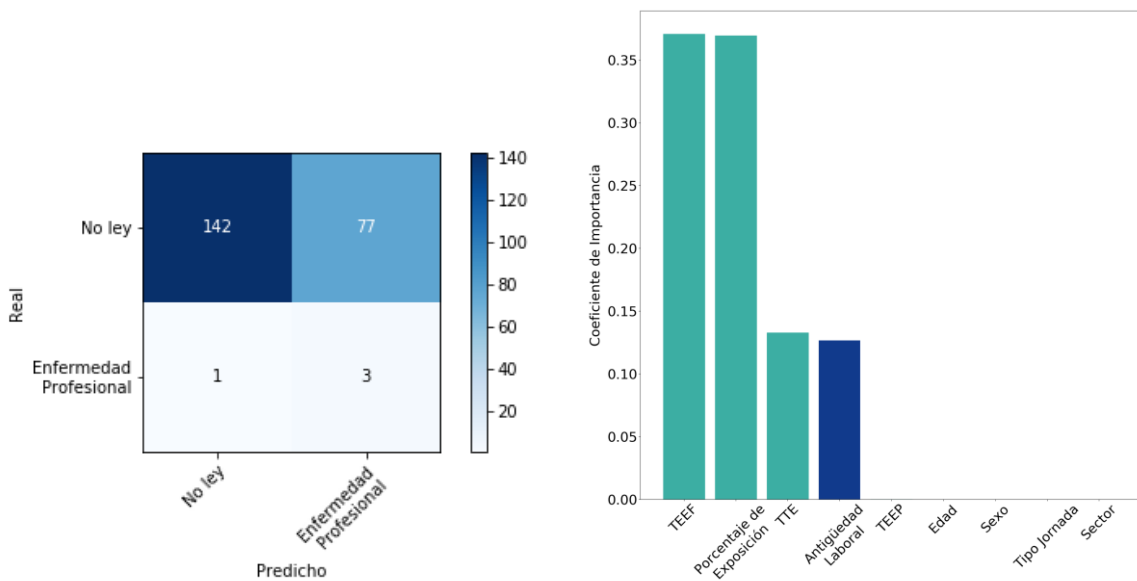
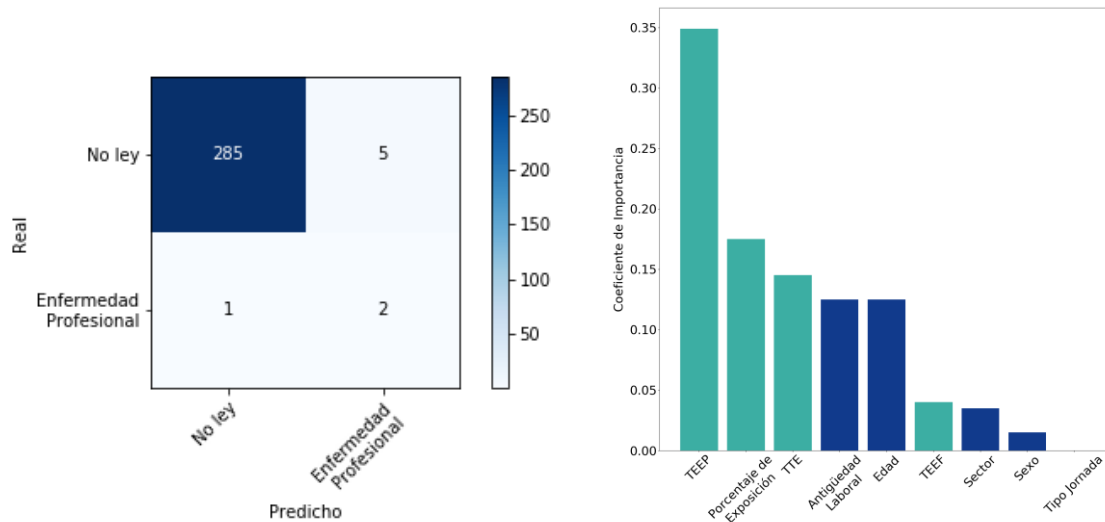


Figura 16. Matriz de confusión y lista de importancia de variables. En la figura se muestra el rendimiento de clasificador con la partición de test la base de datos (977 siniestros) en la matriz de confusión (izquierda) y la importancia de las variables para el mismo clasificador (derecha).

Cabe destacar que el rendimiento varía según la articulación analizada, variando desde una precisión del 64% para el hombro, hasta un 98% para la mano (codo 70%, muñeca 80%). Los casos extremos se ilustran en la Figura 17. En estas dos articulaciones indicadas, 3 de las 5 primeras variables identificadas a nivel global se mantienen (tiempos de exposición postura/fuerza y antigüedad laboral).



(a) Hombro



(b) Mano

Figura 17. Matriz de confusión y lista de importancia de variables para hombro y mano. (a) Predicción para el hombro. (b) Predicción para la mano.

Priorización siniestros

Con el fin de estudiar el uso del clasificador como una manera de priorizar el trabajo de los comités ACHS, a partir del árbol de decisión propuesto, se realiza una simplificación orientada a captar los casos más comunes en que un siniestro es categorizado como no-ley, lo cual se presenta en la Figura 18. En esta figura se muestra que para $TEEP \leq 57.5$ y $TEEF \leq 40.5$ de la muestra evaluada (1983 ejemplos no usados en el entrenamiento) un 54% de los siniestros no-ley y sólo un 8% de los siniestros calificados como enfermedades profesionales cumplieron estas dos condiciones.

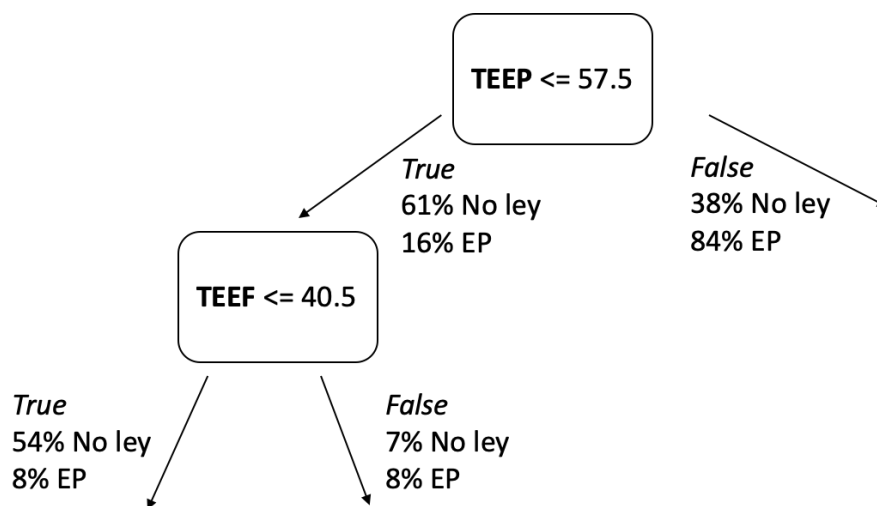


Figura 18. Árbol de decisión para detección de casos de alta frecuencia de ser no ley. Árbol reducido de la versión completa del Anexo 8.2.

Revisión de siniestros

De una manera análoga se puede utilizar el clasificador propuesto para revisar casos que son de alta probabilidad de ser siniestros con calificación de enfermedades profesionales, como se ilustra en la Figura 19. En este caso si $TEEP > 57.5$ y $TEEF > 100.5$, se tiene que 36% de los casos de EP de la muestra cumplen con esas condiciones y sólo un 4% las cumplen y son siniestros catalogados no-ley. También la condición de que $TEEP > 57.5$, $TEEF \leq 100.5$ y $Antigüedad > 318$, los porcentajes son de 16% para EP y 1% para no laboral.

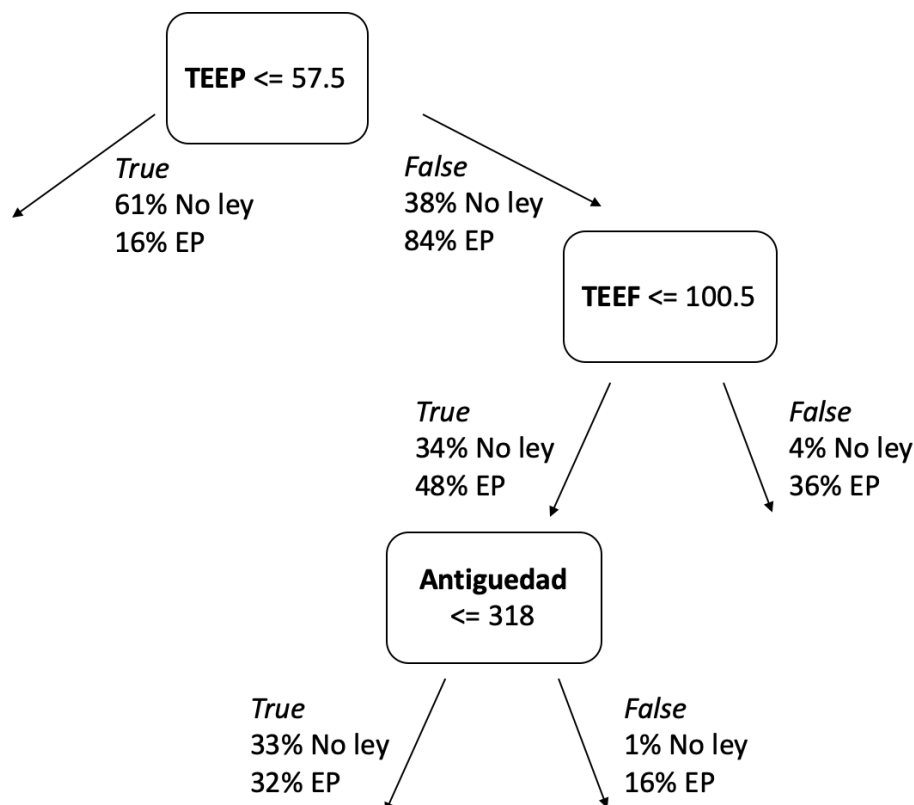


Figura 19. Árbol de decisión para detección de casos de alta frecuencia de ser enfermedades profesionales. Árbol reducido de la versión completa del Anexo 8.2.

Evaluación de casos revertidos por SUSESO

A modo de prueba, se tomaron los casos que la SUSESO revirtió, respecto a la calificación ACHS (de no-ley a EP), y se evaluó con el árbol de todas las articulaciones (Anexo 8.1) en este caso se obtuvo una precisión de 74%. Es decir, una utilizando una clasificación automática se podría, reducir los casos en que la SUSESO cambia su calificación en un 74%.

5.- DISCUSIÓN

5.1.- Aportes del proyecto

Este proyecto consolida la plataforma EPT al integrar su captura de datos (APP Android, plataforma web) y mejorando su usabilidad, con vista en usos clínicos. Por otra parte los análisis estadísticos realizados, muestran que son efectivamente las variables de tiempos de exposición (desde los EPTs) son las que más contribuyen información predictiva sobre si un siniestro será acogido como ley o no, junto a variables claves clínicas tales como la antigüedad laboral.

Cabe destacar que el análisis realizado plantea una oportunidad de cómo utilizar los grandes volúmenes de datos disponibles en la ACHS, para llevar estadísticas detalladas, priorizar el trabajo de los comités y también realizar controles de calidad sistemáticos a los procesos de calificación de siniestros.

5.2.- Nivel de logros de objetivos

Luego del cambio de objetivo general acordado al inicio del proyecto, tanto el objetivo general como los objetivos específicos fueron cumplidos a cabalidad. Se realizaron mejoras a la plataforma web EPT que permitieron integrar desde la captura hasta la generación de los tiempos de exposición y se realizó un análisis descriptivo y predictivo con los datos clínicos y de EPTs con 3 años de siniestros (2016-2018). Se destaca también la presentación de resultados realizados en una conferencia científica internacional.

5.3.- Resultados frente a antecedentes

En términos generales, SUSESO reporta un 11% de EP dentro de las patologías musculoesqueléticas de extremidades superiores, lo que difiere de lo observado en este análisis, que es alrededor de un 1%. Esto se puede explicar debido a que sólo se incluyen en el análisis patologías de las extremidades superiores, la existencia de sub-reporte de los trabajadores y la diferencia en cómo se reportan los casos de EP en otras mutualidades (repetición de siniestros), entre otros.

6.- CONCLUSIONES

El presente proyecto muestra un análisis de más de 18.000 siniestros en el periodo 2016-2018. Sus conclusiones más importantes son la identificación de las mediciones de tiempos de exposición (desde los EPTs) entre las más informativas en cuanto a la calificación de los siniestros. De construir un sistema web para los EPTs estas variables deberían estar claramente identificadas, y manejadas de manera independiente. Específicamente, se proponen algunas reglas que permiten identificar casos de alta frecuencia de ser no-ley y viceversa para un uso en priorización y control de calidad en la calificación de siniestros, combinadas con variables clínicas.

Los análisis realizados muestran que existen importantes diferencias entre articulaciones superiores, y que tan precisa es la predicción de siniestros catalogados como ley o no. Esto sugiere realizar mayores estudios al respecto, y una limitante o al menos priorización a la hora de realizar análisis predictivos. Por otra parte, es importante destacar que no se analizaron exámenes médicos o la hipótesis diagnóstica en detalle, pues esto trae dificultades a nivel de confidenciales, y en la base de datos ACHS, se encuentran disponibles como textos libres, lo que dificulta su uso.

7.- REFERENCIAS

Álvarez, D., Alvarez, J. C., González, R. C., & López, A. M. (2016). Upper limb joint angle measurement in occupational health. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering* 19(2), 159–170.

Balogh, I., Ørbaek, P., Ohlsson, K., Nordander, C., Unge, J., Winkel, J., Malmö Shoulder/Neck Study Group. (2004). Self-assessed and directly measured occupational physical activities--influence of musculoskeletal complaints, age and gender. *Applied Ergonomics*, 35(1), 49–56.

Córdova, V. Cerda, E & Rodríguez, C. (2010). *Guía Técnica para la Evaluación del Trabajo Pesado*. (S. de Pensiones, Ed.). Superintendencia de Pensiones.

David, G. C. (2005). Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders. *Occupational Medicine*, 55(3), 190–199.

Filippeschi, A., Schmitz, N., Miezal, M., Bleser, G., Ruffaldi, E., & Stricker, D. (2017). Survey of Motion Tracking Methods Based on Inertial Sensors: A Focus on Upper Limb Human Motion. *Sensors*, 17(6). <https://doi.org/10.3390/s17061257>

James G et al (2015). *An introduction to Statistical Learning with Application in R*. Springer, New York, USA.

Losa, M., Picerno, P., Paolucci, S., & Morone, G. (2016). Wearable inertial sensors for human movement analysis. *Expert Review of Medical Devices*, 13(7), 641–659.

Kilbom, A. (1994). Assessment of physical exposure in relation to work-related musculoskeletal disorders--what information can be obtained from systematic observations? *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 20 Spec No, 30–45.

Mancini, M., Chiari, L., Holmstrom, L., Salarian, A., & Horak, F. B. (2016). Validity and reliability of an IMU-based method to detect APAs prior to gait initiation. *Gait & Posture*, 43, 125–131.

Mathiassen, S. E., Liv, P., & Wahlström, J. (2013). Cost-efficient measurement strategies for posture observations based on video recordings. *Applied Ergonomics*, 44(4), 609–617.

Ministerio de Salud. *Norma Técnica para la Identificación y Evaluación de factores de riesgo de TMERT-EESS.2012. (online)*
<https://www.minsal.cl/portal/url/item/cbb583883dbc1e79e040010165014f3c.pdf>

Peppoloni, L., Filippeschi, A., Ruffaldi, E., & Avizzano, C. A. (2016). A novel wearable system for the online assessment of risk for biomechanical load in repetitive efforts. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 52, 1–11.

Sabatini, A. M. (2011). Kalman-filter-based orientation determination using inertial/magnetic sensors: observability analysis and performance evaluation. *Sensors*, 11(10), 9182–9206.

Superintendencia de Pensiones. Guía técnica para la evaluación el trabajo pesado 2010. https://www.spensiones.cl/portal/institucional/594/articles-12791_guia_tecnica_evaluacion.pdf

Superintendencia de Seguridad Social. Informe de estadísticas de Seguridad Social 2017 (online). http://www.suseso.gob.cl/607/articles-496701_archivo_01.pdf

Vignais, N., Miezal, M., Bleser, G., Mura, K., Gorecky, D., & Marin, F. (2013). Innovative system for real-time ergonomic feedback in industrial manufacturing. *Applied Ergonomics*, 44(4), 566–574.

8.- ANEXOS


8.1.- Publicación científica

Poster y demo realizado en el 11th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE, Washington, USA, 16-20 Julio 2019) Safety Management and Human Factors.

Automatic assessment of upper limb work-related musculoskeletal risk based on wearable sensors data

M Aguirre, A Lavado, M Cerda
 Biomedical Neuroscience Institute,
 Center of Medical Informatics and Telemedicine, Faculty of Medicine, University of Chile

Motivation
 Mechanical overload during work-related activities is an important risk factor for musculoskeletal disorders, and is a challenge to assess. This study proposes and validates the use of an automated prototype system for visualizing, measuring, and assessing biomechanical overload of the upper limbs, designed for workplace recordings.



Acknowledgements
 All acknowledgments. The authors thank financial support from FONDECYT project 114-0000 and the collaboration of the Asociación Chilena de Seguridad (ACS).

References
 Ergonomics: Evaluation of data work systems 102 (2016) 1031-1044. <https://www.tandfonline.com/doi/10.1080/00140139.2016.1151291>
 System Usability Scale - <https://www.usability.gov/how-to-and-tools/templates/system-usability-scale.html>

Implemented system

The implemented system consists of two main modules.

- ##### Mobile Application


Sensors, data and video capture

The first module is a mobile app to capture onsite 3D full upper limb kinematic data using 4 wireless Inertial Measurement Units (IMU), recording information of three joints (shoulder, elbow and wrist).

About the IMUs
 We used wearable IMUs developed by NorthEastLab (US).
 Visit our website at <http://www.northeastlab.com>
- ##### Web Application

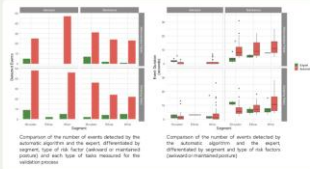
Advanced data analysis

The second module is a web application, to manage subject's records, to visualize individual tasks and automatically detected maintained and awkward postures, following national and international (ISO 11226:2000) guidelines.



Results

Detection algorithms validation
 To validate the automatic detection of maintained and awkward postures we measured the number of detected risk postures, their duration and total exposure time. Two workers profiles were considered: administrative and cleaning staff.



Usability evaluation
 Using the standard System Usability Survey (SUS), two users with a medical informatics background rated the system 80 and 75 points. The lowest scores regarded ease of use and the need of expert guidance to use the system.

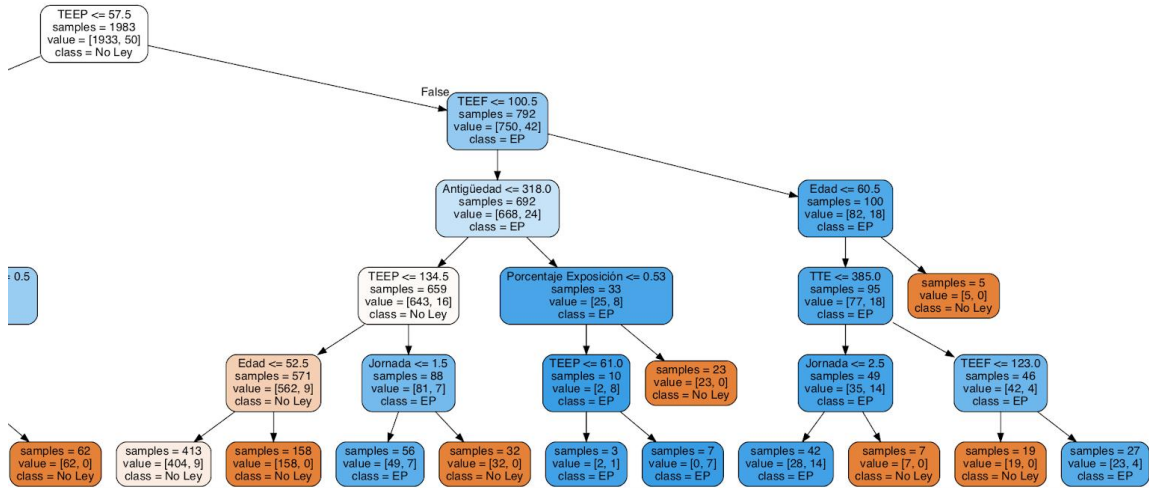
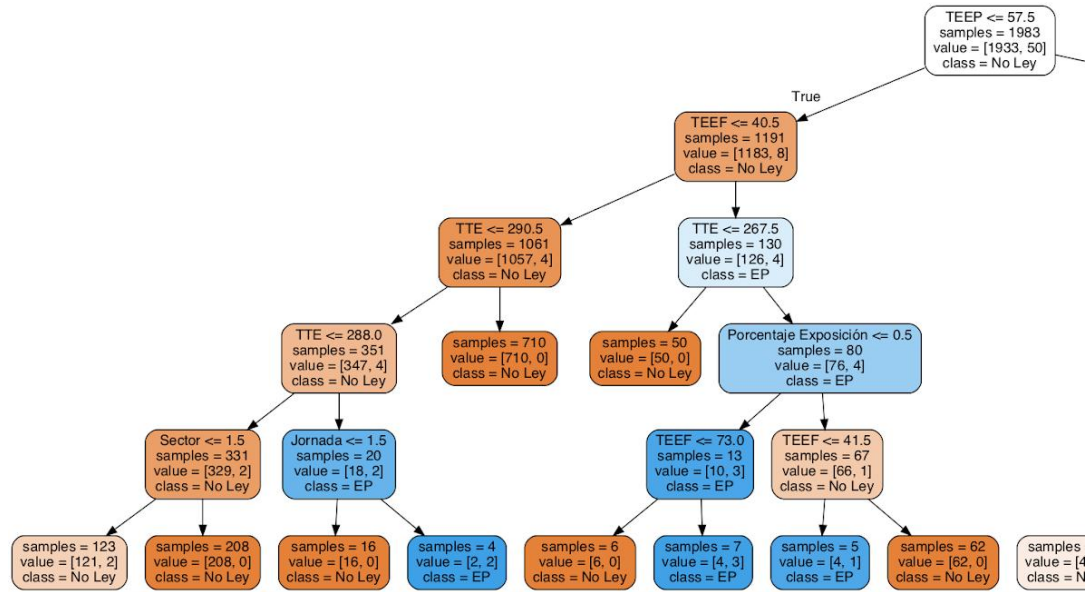
Conclusion
 The proposed system has a good performance, with room for improvement in the accuracy of the detection algorithms, with more field testing and validation. The usability of the system can be improved, especially the ease of use of the system as a whole.

75% Usability Score

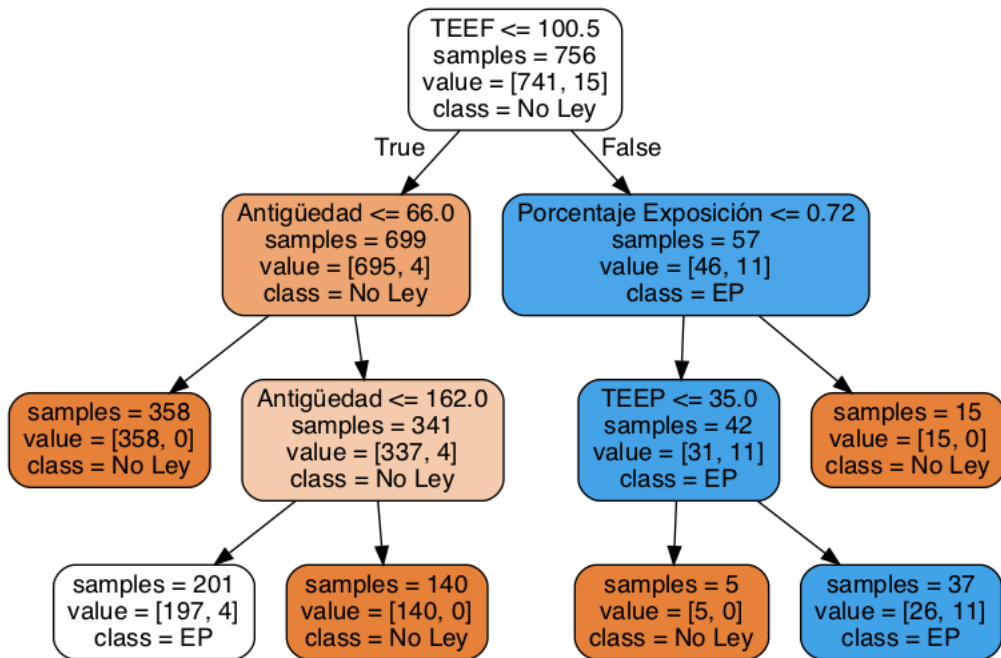


8.2.- Árboles de decisión

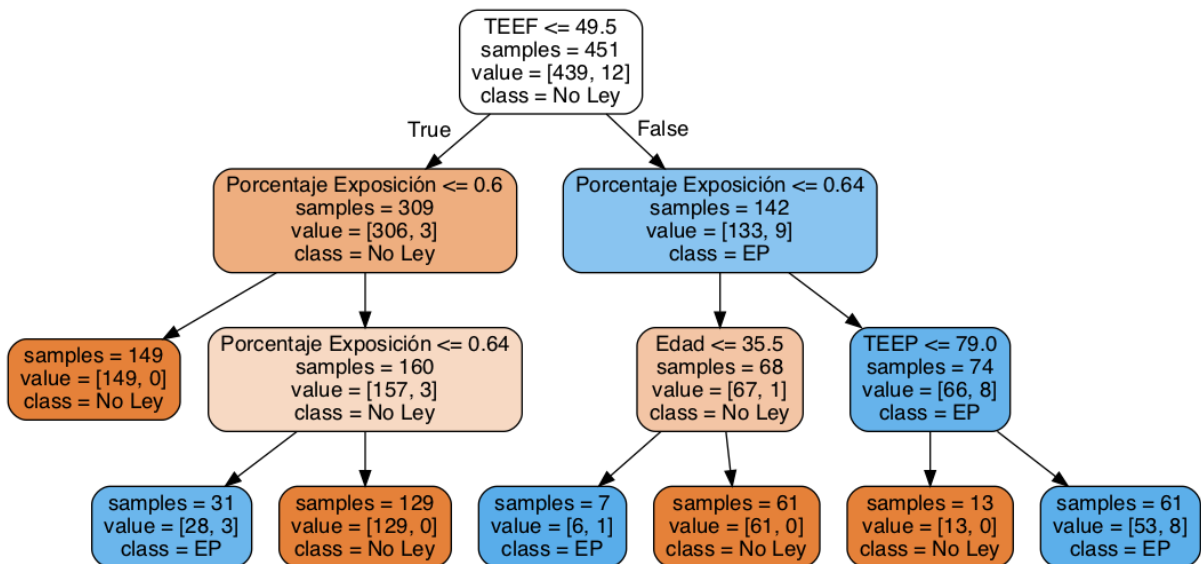
Árbol general (todas las articulaciones)



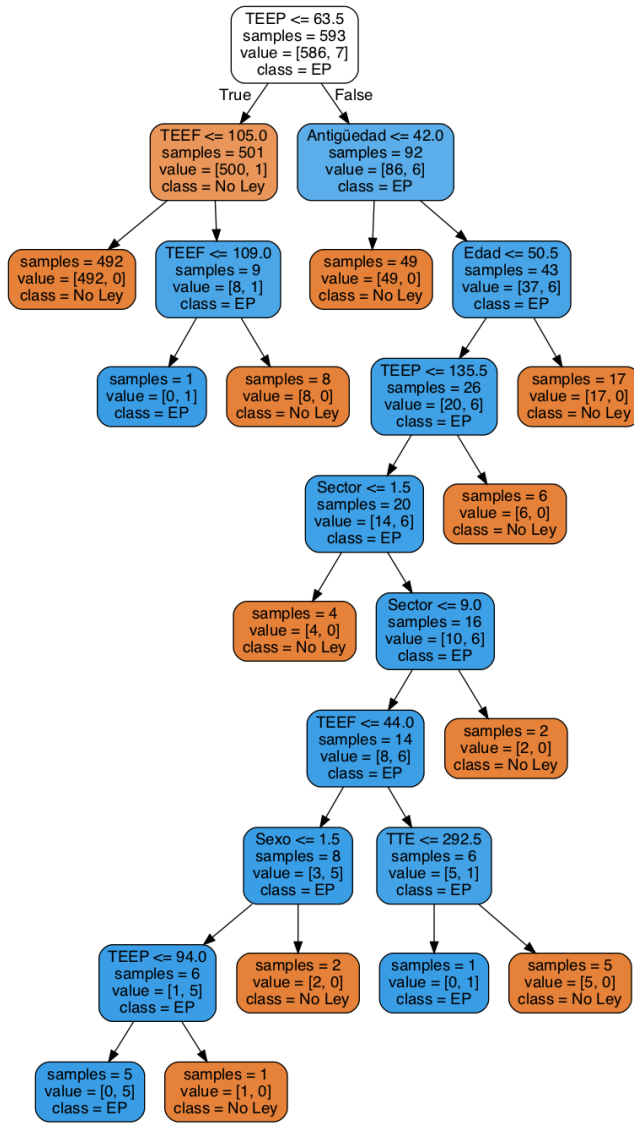
Árbol Codo



Árbol hombro



Árbol mano



Árbol muñeca

