

**ANEXO N°45**

**INFORME FINAL**



**SUSESO**

**Proyectos de Investigación e Innovación en prevención de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales**

Santiago - Chile

Desarrollo de un sistema de reconocimiento de gestos faciales basado en visión computacional para la asistencia de pacientes con discapacidad motora severa crónica de Mutual de Seguridad CChC.

**INFORME FINAL**

Claudio Tapia Malebrán, Ph.D., M.Sc.  
Carlos Cruz Montecinos, M.Sc.



## **SUPERINTENDENCIA DE SEGURIDAD**

### **SOCIAL**

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 Superintendencia de 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 Superintendencia de Social Security.

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

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

Superintendencia de Seguridad Social  
Huérfanos 1376  
Santiago,  
Chile.



FACULTAD DE MEDICINA  
UNIVERSIDAD DE CHILE



---

---

# Desarrollo de un sistema de reconocimiento de gestos faciales basado en visión computacional para la asistencia de pacientes con discapacidad motora severa crónica de MutuaL de Seguridad CChC.

---

---

Innovador principal: Claudio Tapia Malebrán, Ph.D., M.Sc.

Innovador Alterno: Carlos Cruz Montecinos, M.Sc.

Universidad de Chile

Julio 2022

Santiago, Chile.

## TÍTULO

Desarrollo de un sistema de reconocimiento de gestos faciales basado en visión computacional para la asistencia de pacientes con discapacidad motora severa crónica de Mutual de Seguridad CChC.

## AUTORES

Innovador principal: Claudio Tapia Malebrán, Ph.D., M.Sc.

Innovador Alterno: Carlos Cruz Montecinos, M.Sc.

Facultad de medicina, Universidad de Chile

## RESUMEN

De acuerdo al Estudio Nacional de Discapacidad de 2015, el 20% de la población adulta Chilena posee algún grado de discapacidad, de ésta el 8,3% posee discapacidad severa. Particularmente, 8 de cada 10 personas en situación de discapacidad severa es inactivo, esto es, no participa del mercado laboral (Ministerio de Desarrollo Social, 2016).

El presente proyecto aborda la población con discapacidad motora severa crónica, quienes ven afectada su autonomía, independencia, participación y muchas veces presentan una gran carga emocional asociada a su condición de salud y dependencia total de terceras personas. Busca potenciar la reinserción y autonomía de las y los trabajadores a través del desarrollo de un prototipo basado en el uso de visión computacional (inteligencia artificial) que reconoce gestos faciales para controlar diferentes dispositivos disponibles en la habitación del paciente.

El objetivo general fue desarrollar un sistema de reconocimiento de gestos faciales basado en visión computacional para la asistencia de pacientes con discapacidad motora severa crónica de Mutual de Seguridad CChC.

El modelo propuesto hace uso de algoritmos de visión computacional que permiten la detección de gestos faciales mediante el registro de imágenes del rostro de la persona (Kartynnik et al., 2019)(Grishchenko et al., 2020). De este modo, el sistema propuesto se convierte en un verdadero centinela de alerta y asistencia para el paciente.

Como resultado de este proyecto, se logró el desarrollo de un prototipo que permitió la detección de gestos faciales y la configuración de estos para realizar dos acciones, el llamado de asistencia al personal de salud y el encendido y apagado de la iluminación. Este prototipo fue validado a través de un protocolo de registro en 4 pacientes con compromiso motor severo, quienes se atienden en Hospital Mutual de Seguridad. Las pruebas mostraron resultados estadísticos positivos para todas las pruebas realizadas.

## ÍNDICE

<b>Problema y Relevancia.....</b>	<b>6</b>
<b>Innovación y problema a resolver .....</b>	<b>8</b>
<b>Objetivos.....</b>	<b>8</b>
<b>Metodología.....</b>	<b>9</b>
<b>Resultados .....</b>	<b>14</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>16</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>17</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>18</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>20</b>
<b>Anexo 1.....</b>	<b>20</b>

## Problema y Relevancia

De acuerdo al Estudio Nacional de Discapacidad de 2015, el 20% de la población adulta Chilena posee algún grado de discapacidad, de ésta el 8,3% posee discapacidad severa. Particularmente, 8 de cada 10 personas en situación de discapacidad severa es inactivo, esto es, no participa del mercado laboral (Ministerio de Desarrollo Social, 2016).

El presente proyecto aborda la población con discapacidad motora severa crónica, quienes ven afectada su autonomía, independencia, participación y muchas veces presentan una gran carga emocional asociada a su condición de salud y dependencia total de terceras personas (González et al., 2012)(Mota & Ribeiro, 2016). Busca potenciar la reinserción y autonomía de las y los trabajadores a través del desarrollo de un prototipo basado en el uso de visión computacional (inteligencia artificial) que reconoce gestos faciales para controlar diferentes dispositivos disponibles en la habitación del paciente.

Una de las principales condiciones de salud que genera discapacidad severa y crónica es la lesión de médula espinal (Pinchi et al., 2019). De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, entre 250.000 y 500.000 personas sufren cada año lesiones medulares en todo el mundo, la mayoría se deben a causas traumáticas prevenibles como accidentes de tránsito, caídas o actos de violencia (World Health Organization, 2011). Particularmente el traumatismo raquímedular (TRM) resulta de la lesión de estructuras óseas, ligamentosas y/o neurológicas de la columna vertebral, afectando la conducción de las señales motoras y sensitivas en el o los sitios de la lesión además del sistema nervioso autónomo, generando deterioro motor y diferentes niveles de discapacidad (Lamontagne et al., 2013)(Lynch & Cahalan, 2017).

Distintos reportes han descrito a nivel mundial que la incidencia de un TRM alcanza 10,5 casos por 100.000 personas, aumentando en países con menores ingresos, llegando a 13,7 casos por 100.000, mientras que en países con ingresos altos esta relación disminuye a 8,7 casos por 100.000 personas (Kumar et al., 2018). En Chile, de acuerdo al Global Burden Disease del Institute for Health Metrics and Evaluation de la Universidad de Washington, en el año 2017 se reportó una prevalencia de 51.616 con una incidencia de 1.618 casos (James et al., 2019).

Esta condición afecta más a hombres que mujeres, se sugiere que esto puede estar determinado por peligros ocupacionales únicos o comportamientos más riesgosos que los hacen vulnerables a traumas (Kumar et al., 2018). Si se considera que el promedio de edad, a nivel mundial, de las personas que presentan esta condición es de 40 años, resulta evidente el impacto que esto tiene a nivel laboral. En estricto rigor, la principal causa de TRM corresponde a los accidentes de tránsito, llegando a 41,6% de los casos reportados, seguido por caídas, las que ocurren principalmente en el trabajo (Menter et al., 1991)(WHO, 2011).

Esta condición afecta el bienestar físico, psicológico y social del paciente (Darwish et al., 2020)(Nas et al., 2015). Por lo tanto, mejorar el acceso y calidad de la atención médica y el acceso a rehabilitación oportuna, mejora la supervivencia y reduce la morbilidad, discapacidad y dependencia (MINSAL, 2019). Un estudio realizado en pacientes con discapacidad producto de lesión medular en Chile describe la vivencia de tener una discapacidad por daño a la médula espinal, lo difícil que es asumir esta condición y disponerse a la rehabilitación, describiendo diferentes etapas en el proceso de rehabilitación; desde una fase marcada por la depresión, hasta alcanzar en los mejores casos la independencia absoluta (González Echeverría et al., 2011). Desde este punto de vista, resulta pertinente enfatizar la discapacidad y dependencia a la que se enfrenta una persona con lesión medular. De acuerdo al Segundo Estudio Nacional de la Discapacidad, ésta se entiende como “una construcción simbólica, un término genérico y relacional que incluye condiciones de salud y déficits, limitaciones en la actividad, y restricciones en la participación”. Este concepto indica los aspectos negativos de la interacción, entre un individuo y sus factores contextuales, considerando los ambientales y personales (Ministerio de

Desarrollo Social, 2016). Una persona con lesión medular y con secuelas motoras severas podría ver impedida su participación y autonomía, generando un aumento del nivel y percepción de dependencia, aumentando con ello su discapacidad (Chesani et al., 2018)(González et al., 2012).

Las lesiones medulares o condiciones de salud que impliquen secuela de dependencia severa aumentan también significativamente los costos hospitalarios, generando una carga financiera sustancial en los sistemas de atención médica asociado a los altos costos de atención de la salud en esta población (Badhiwala et al., 2019). Además de manera indirecta, esta carga financiera del sistema se agrava producto de la pérdida de productividad. El manejo del TRM requiere de importantes recursos sanitarios y puede representar una carga financiera considerable para los pacientes, sus familias y la comunidad. Estos costos se deben, en gran medida, a la necesidad de cuidados agudos a corto plazo en la Unidad de Paciente Crítico (UPC) y las complicaciones secundarias asociadas que ocurren a corto, mediano y largo plazo (MINSAL, 2019). La pérdida de autonomía, con la consiguiente discapacidad asociada lo exponen a un aumento del riesgo de dichas complicaciones, entre las que se encuentran: las fracturas asociadas a osteoporosis por desuso, compromiso de funciones vitales, atrofia muscular y la presencia de úlceras por presión (UPP) (Mota & Ribeiro, 2016). Por ejemplo, se estima que en EE. UU. los costos asociados debido al manejo de UPP se aproximan a los 11 billones de dólares por año, mientras que en Europa se estima que corresponden el 1,4% del gasto en salud (Nussbaum et al., 2018)(Statement, 2014).

De lo antes expuesto, el principal desafío que se enfrenta, a través de este proyecto, es permitir la interacción temprana con su entorno a pacientes con discapacidad motora severa crónica de Mutual de Seguridad CChC. De particular interés resulta la población con lesión medular alta. Sin embargo, esta situación de discapacidad se presenta de igual manera en otras poblaciones, como pacientes secuelados de traumatismo encefalo craneano (sin trastorno de conciencia) y grandes amputados. Por tal motivo, este proyecto abordará estas tres poblaciones, teniendo siempre en cuenta que el problema se identifica en la situación de discapacidad motora severa crónica, no en la patología respectiva.

La falta de interacción oportuna, de estos pacientes con su entorno, genera mayores costos asociados al manejo de su condición secuelar, tanto por los recursos directos debido a su cuidado, como por recursos necesarios para el manejo de las complicaciones. Por otra parte, esta misma falta de interacción con su entorno aumenta su discapacidad, favorece la depresión y limita su autonomía (Barclay et al., 2016)(Lynch & Cahalan, 2017). Desde el ámbito emocional, los usuarios con secuelas de dependencia severa son propensos a presentar diagnósticos de depresión, lo cual además de repercutir significativamente en su estado anímico e interacción con el entorno, podría aumentar las complicaciones clínicas asociadas a la escasa motivación de auto cuidado (Peter et al., 2012)(González et al., 2012). Dependiendo de terceras personas en todas las actividades de la vida diaria influye directamente en su percepción de autonomía (Paul M. Muchinsky, 2012), por lo que este proyecto busca además potenciar la independencia de los usuarios en acciones cotidianas que actualmente sin el apoyo de terceras personas son inviables de realizar. Por otra parte, de acuerdo al Servicio Nacional de Discapacidad, para promover estrategias que permitan mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad en situación de dependencia, se debe fortalecer su autonomía e independencia individual; a modo de promover su inclusión en la comunidad y vinculación con el entorno familiar (Política Nacional para la Inclusión Social de las Personas con Discapacidad, SENADIS) este proyecto va ligado directamente a lo anterior.

## Innovación y problema a resolver

Se propone un abordaje con un paradigma basado en la inclusión y la promoción de la autonomía de pacientes con discapacidad motora severa crónica que permita fortalecer el modelo ya implementado desde esta perspectiva por Mutual de Seguridad CChC. Particularmente, el Modelo de Atención Integral en Salud (MAIS) el cual abarca los aspectos médicos y psicosociales del proceso de recuperación del estado de salud de los trabajadores/as accidentados o que padezcan una enfermedad profesional, con el fin de promover la plena inclusión social.

El paradigma tradicional para el manejo de estos pacientes apunta a los cuidados, mantención de sus capacidades remanentes y evitar complicaciones. Sin embargo, a través el presente proyecto se propone un modelo que permita al paciente interactuar con su entorno, requiriendo asistencia cuando él lo estime, sin la necesidad de contar con los cuidados presenciales o la asistencia directa de un cuidador para realizar algunas acciones. Esto resulta fundamental, pues un paciente con daño medular alto, no puede solicitar asistencia mediante un timbre o un llamado, situación que lo puede poner en riesgo vital si no recibe la atención oportuna ante una emergencia. Por otro lado, el proyecto también otorga al paciente la posibilidad de poder controlar algún dispositivos doméstico de su habitación, como la iluminación (encender y apagar la luz). Lo que contribuiría a potenciar su percepción de autonomía, a su vez puede otorgar espacio de privacidad al no requerir el apoyo de cuidador permanente al interior de una habitación.

El modelo propuesto hace uso de algoritmos de visión computacional que permiten la detección de gestos faciales mediante el registro de imágenes del rostro de la persona (Kartynnik et al., 2019)(Grishchenko et al., 2020). De este modo, el sistema propuesto se convierte en un verdadero centinela de alerta y asistencia para el paciente. El desarrollo de este sistema hace énfasis en el algoritmo de análisis y tratamiento de datos obtenidos a través del registro de imágenes, sin tener contacto con el paciente, lo que permitirá diferenciarse de soluciones implementadas previamente. Las principales diferencias son:

1. No tiene contacto directo con el paciente (de especial interés dado el contexto pandemia por Covid-19).
2. No requiere uso de dispositivos especializados, ya que utiliza un software que controla dispositivos domésticos.
3. Puede ser implementado en diferentes locaciones sin intervenir el entorno donde habita el paciente.
4. Es de bajo costo.
5. Opera en tiempo real.
6. No requiere personal técnico especializado.

## Objetivos

**Objetivo General:** Desarrollar un sistema de reconocimiento de gestos faciales basado en visión computacional para la asistencia de pacientes con discapacidad motora severa crónica de Mutual de Seguridad CChC.

## Objetivos específicos:

1. Diseñar y desarrollar un software de reconocimiento de gestos faciales mediante el procesamiento de imágenes de video.
2. Entrenar algoritmos de reconocimiento de gestos faciales basado en características de cada paciente.
3. Desarrollar un sistema de comunicación para control de dispositivos en tiempo real.
4. Validar clínicamente el sistema de reconocimiento de gestos faciales para control de dispositivos en tiempo real.
5. Evaluar adherencia y efectividad del uso del prototipo desarrollado.

## Metodología

El presente proyecto correspondió a una innovación de producto con un alto impacto en la inclusión de pacientes con discapacidad motora severa crónica de Mutual de Seguridad CChC. Las fases propuestas para lograr el objetivo del proyecto se dividieron en cinco actividades.

**Actividad 1. Desarrollo de software de detección de puntos de interés de rostro mediante el procesamiento de imágenes de video:** Esta actividad consistió en el diseño e implementación de un algoritmo de visión computacional que permitió el reconocimiento facial, previa identificación de puntos de interés de rostro, aplicando metodología de malla facial, los que fueron adaptados a cada persona. Esta etapa no se realizó con pacientes sino con voluntarios, ya que para el desarrollo del software no se requirió la condición clínica. Se realizó en colaboración con la empresa especializada Dual Vision.

A continuación se describen las fases desarrolladas en la actividad 1:

- Diseño de algoritmo de visión computacional. Se diseñó un algoritmo de visión computacional que detectó puntos de interés necesarios para la identificación de distintos gestos faciales. Éste cumplió con requisitos de ejecución en tiempo real.
- Implementación de Sistema de detección de puntos de interés: Se implementó el método de visión computacional diseñado, cumpliendo con los requisitos de precisión y tiempo de ejecución.
- Pruebas de funcionamiento en imágenes: Se efectuaron pruebas de funcionamiento en imágenes en paralelo con la implementación del método de detección de puntos de interés, para verificar el correcto funcionamiento del desarrollo en proceso (Figura 1).
- Pruebas de funcionamiento en video: Se efectuaron pruebas de funcionamiento en video, grabados anteriormente, para validar la precisión y tiempo de ejecución del método implementado (Figura 1), mostrando precisión y buen tiempo de respuesta.



A

B

Figura 1. Ejemplos de detección de puntos de interés. A. Detección de puntos de interés en una cara frontal. Se destaca la ceja derecha en azul y la ceja izquierda en verde. B. Detección de puntos de interés en una cara rotada e inclinada.

Los productos de esta fase consideraron:

1. Software basado en visión computacional que permitió la detección de puntos de interés de rostro.
2. Informe del estado del software de detección de puntos de interés de rostro mediante el procesamiento de imágenes de video (informe de avance 2).

**Actividad 2. Entrenamiento de algoritmos de detección de patrones gestuales basado en características individuales:** A partir de la metodología desarrollada en la Actividad 1, se realizó el entrenamiento de los algoritmos implementados, con el fin de mejorar los resultados de clasificación de los gestos faciales. Esta actividad se dividió en 5 fases.

- Definición de metodología de entrenamiento: Se estudiaron diversos gestos faciales de fácil expresión y detección, usando los puntos de interés definidos, luego se registraron videos para el entrenamiento de los algoritmos y se definieron métricas de desempeño orientadas al uso y se establecieron los métodos para entrenar.
- Definición de gestos a detectar: Se redujo el tipo de gestos a 2 para esta etapa: levantar ambas cejas y abrir la boca. Adicionalmente se puede utilizar secuencias de gestos.
- Definición de gestos a detectar: A partir de los videos generados anteriormente, se diseñó, implementó y entrenó un método para detectar los gestos definidos, basados en los puntos de interés. Se evaluó exitosamente el desempeño del método obteniendo resultados superiores a los requerimientos iniciales.
- Integración a sistema de detección de puntos de interés: Se incorporó la detección de gestos al método implementado en el hito 1 y se evaluó su correcto funcionamiento en términos de precisión y tiempo de ejecución para los videos guardados. Se observó que se mantuvieron dentro de los requisitos establecidos anteriormente.
- Pruebas de funcionamiento: Se evaluó el comportamiento del método en los videos registrados y en la entrada directa desde una cámara. Se validaron los buenos resultados obtenidos anteriormente en los videos (Figura 2).

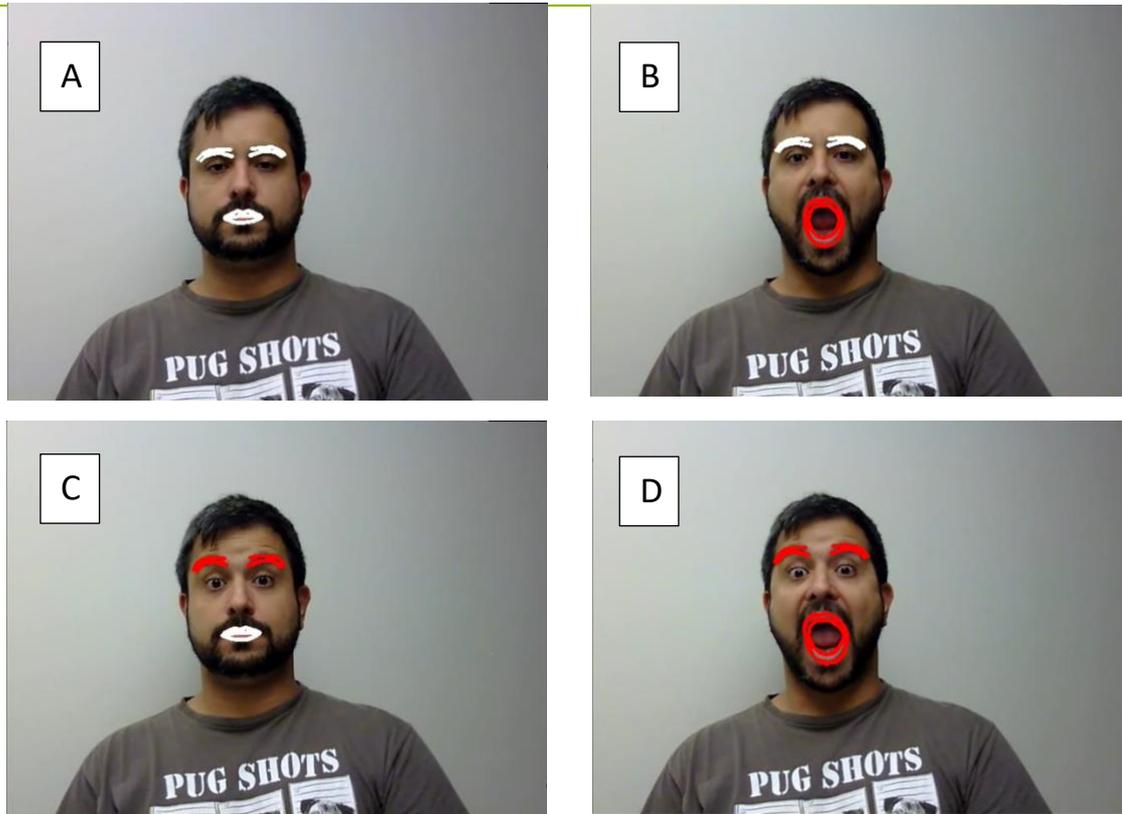


Figura 2. Detección de gestos faciales. Se superpone sobre la imagen las detecciones de las cejas y la boca. Estas se dibujan rojas cuando se detecta un gesto o blancas en caso contrario. A. Caso base sin gestos. B. Detección de boca abierta. C. Detección de cejas levantadas. D. Detección de boca abierta y cejas levantadas simultáneamente.

Los productos de esta fase consideraron:

1. Prototipo de sistema de reconocimiento de gestos faciales a partir de imágenes de video.
2. Informe con las principales características técnicas del software (informe de avance 2).

**Actividad 3. Desarrollo de comunicación para control de dispositivo en tiempo real:**

Correspondió al desarrollo del sistema de comunicación en formato microcontrolador (Figura 3) que permitió la ejecución de una instrucción en un dispositivo electrónico a partir de la detección del gesto facial obtenido desde el software desarrollado en las etapas 1 y 2. El sistema opera de la siguiente manera: La cámara captura imágenes del usuario, las cuales son procesadas por el computador central. El software hace un modelo de la cara del usuario y detecta gestos que este realiza. Una vez que se detecta una secuencia definida se envía la información al microcontrolador que, a su vez retroalimenta al usuario a través de un semáforo de luces leds (feedback), activando o desactivando el dispositivo que se quiere controlar.

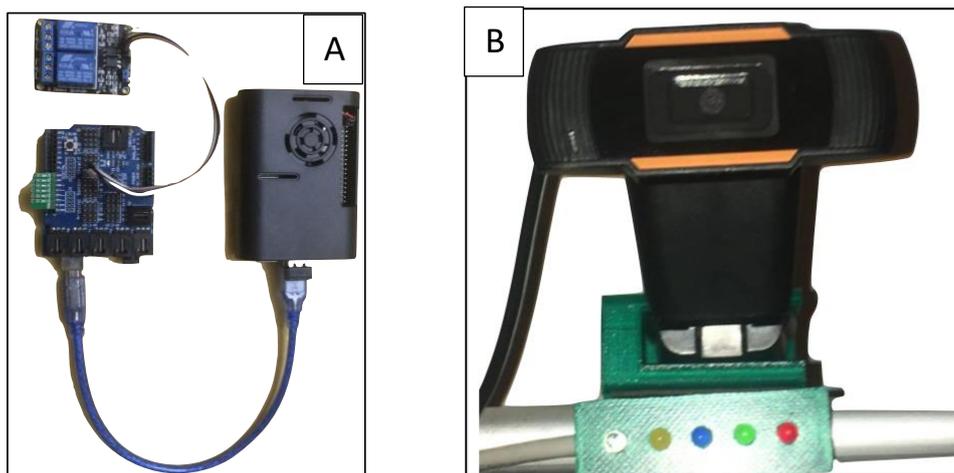


Figura 3. Dispositivos utilizados en Actividad 3 para comunicación y control de dispositivos electrónicos en tiempo real. A. Microcontrolador con software de detección y reconocimiento de secuencia de gestos faciales. Permite ser personalizado. B. Cámara y sistema de semáforo para captura de video y retroalimentación respectivamente.

Los productos de esta fase consideraron:

1. Sistema de comunicación para control en tiempo real de dispositivo electrónico.
2. Informe con las principales características técnicas del software (informe final).

**Actividad 4. Validación clínica de sistema de reconocimiento de gestos faciales basado en visión computacional para la asistencia en tiempo real de pacientes con discapacidad motora severa crónica de Mutual de Seguridad CChC.** La validación clínica se realizó en el Hospital mutual de Seguridad el 29 de junio de 2022. Para ello se utilizó un protocolo basado en el modelo descrito en EEG Motor Movement/Imagery Dataset<sup>1</sup> por Schalk y col<sup>2</sup>, se usará un protocolo basado en 7 etapas.

1. Instrucciones (INT): Corresponde a las indicaciones que se entregarán al paciente para la posterior ejecución del protocolo. Se estima una duración de 5 minutos.
2. Registro de línea de base (RLB): Se realizará un registro de video en condiciones de reposo gestual o en conversación no supervisada. Este registro se realizará por 2 minutos.
3. Registro de secuencia 1 (RS1), llamado de asistencia: Este registro se realizará a través de la secuencia de movimientos definida (ceja/boca) y se considerará exitoso si el sistema reconoce dicha secuencia y se activa el llamado a enfermería (audio/sonido). Este registro consta de 5 trials con intervalo de 1 minuto (I1) de RLB entre ellos. La duración de cada trial estará determinada por el tiempo que demore el paciente en realizar la secuencia programada.
4. Registro de línea de base: Se realizará un registro en condiciones de reposo gestual o en conversación no supervisada. Este registro se realizará por 2 minutos.
5. Registro de secuencia 2 (RS2), encendido y apagado de luces: Este registro se realizará a través de la secuencia de movimientos definida (ceja/boca) y se considerará exitoso si el sistema reconoce dicha secuencia y logra encender y apagar la iluminación de la habitación. Este registro consta de 5 trials con intervalo de 1 minuto de RLB entre ellos.

<sup>1</sup> Goldberger, A., Amaral, L., Glass, L., Hausdorff, J., Ivanov, P. C., Mark, R., ... & Stanley, H. E. (2000). PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a new research resource for complex physiologic signals. *Circulation* [Online]. 101 (23), pp. e215–e220.

<sup>2</sup> [Schalk, G., McFarland, D.J., Hinterberger, T., Birbaumer, N., Wolpaw, J.R. BCI2000: A General-Purpose Brain-Computer Interface \(BCI\) System. IEEE Transactions on Biomedical Engineering 51\(6\):1034-1043, 2004.](#)

La duración de cada trial estará determinada por el tiempo que demore el paciente en realizar la secuencia programada.

6. Registro de línea de base: Se realizará un registro en condiciones de reposo gestual o en conversación no supervisada. Este registro se realizará por 2 minutos.
7. Registro de secuencia randomizada (RSR), elegida por el paciente: Este registro se realizará a través de la secuencia de movimientos (ceja/boca) realizada a voluntad por el paciente y se considerará exitoso si el sistema reconoce dicha secuencia y logra encender y apagar la iluminación de la habitación o activar el llamado a enfermería (audio/sonido) según corresponda. Este registro consta de 5 trials con intervalo de 1 minuto entre ellos. La duración de cada trial estará determinada por el tiempo que demore el paciente en realizar la secuencia programada.

La figura 4 muestra de manera gráfica la secuencia temporal del protocolo de validación. Se debe considerar que cada secuencia de activación tiene una duración breve (algunos segundos), pero variable entre pacientes.

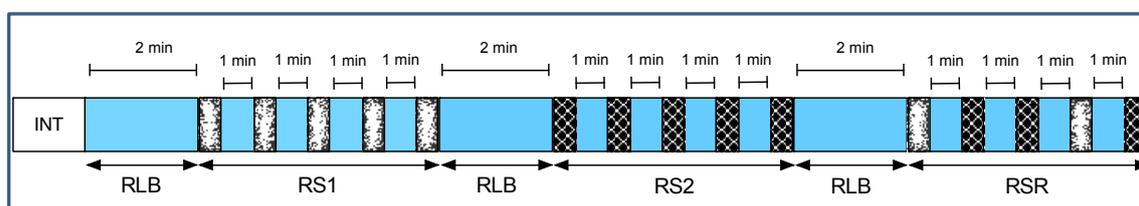


Figura 4. Secuencia temporal del protocolo de validación clínica

La validación del prototipo del sistema de reconocimiento de gestos faciales basado en visión computacional para la asistencia de pacientes con discapacidad motora severa crónica requirió la implementación de dicho sistema en condiciones de uso clínico habitual, esto implicó:

- Habitación clínica tipo (estándar para la condición de salud).
- Paciente con discapacidad motora severa crónica con capacidad de controlar su musculatura facial y comprender instrucciones. Dado que correspondió a la etapa de validación clínica de un prototipo, no es necesario una cantidad representativa de la población hospitalizada en situación de discapacidad motora severa crónica.
- Disponibilidad del paciente para participar por un periodo de tiempo de 60 minutos, necesarios para la implementación de protocolo de validación en sala.
- Registro en posición supina (cama clínica) o sedente (silla de ruedas) con condiciones de iluminación estándar para la habitación.
- Autorización a través de consentimiento informado (anexo 1).

### Resguardos Éticos

De acuerdo a lo informado por Mutual de Seguridad, “este proyecto requiere consentimiento informado ni que pase por el CEC (Comité de Ética Científico). Es una comprobación de un tratamiento que se puede asimilar a los tratamientos compasivos de los médicos con alguno de sus pacientes, no son investigación”. Sin embargo se aplicó el consentimiento informado a todos los pacientes con quienes se validó el sistema.

Todos los datos fueron tratados de manera confidencial.

**Actividad 5. Evaluación de adherencia y efectividad:** Actividad se complementa y se sobrepone con la Actividad 4. En estricto rigor, esta actividad fue descartada, pues al realizarse la validación clínica con pacientes ambulatorios, no fue posible evaluar la adherencia y efectividad (sólo uno se encontraba hospitalizado por circunstancias ajenas a su condición de salud que le permitía participar de la validación).

## Resultados

Se desarrolló un sistema de reconocimiento de gestos faciales basado en visión computacional para la asistencia de pacientes con discapacidad motora severa crónica. Este sistema es capaz de capturar la imagen del rostro de una persona para luego reconocer un gesto facial determinado. En esta etapa se reconocen gestos asociados al movimiento de las cejas y boca, logrando diferenciar diferentes secuencias. Cada secuencia del gesto reconocido permite activar una acción. A la fecha se logró activar el llamado de asistencia (emergencia) a enfermería y encender/apagar la iluminación al interior de la habitación del paciente (en esta etapa alimentada de manera externa).

Se realizó la validación clínica del sistema de reconocimiento de gestos faciales basado en visión computacional para la asistencia en tiempo real de pacientes con discapacidad motora severa crónica de Mutual de Seguridad CChC en 4 sujetos varones, quienes firmaron el consentimiento informado (anexo 1).

Tres sujetos presentaron como condición de salud tetraplejia, uno presentó secuela de traumatismo encéfalo craneano (TEC). Un paciente con condición de tetraplejia realizó el protocolo de validación en posición sedente, haciendo uso de su silla de ruedas, mientras que los tres restantes realizaron el protocolo de validación en posición supino en sus camas clínicas.

La tabla 1 muestra los resultados de acuerdo al protocolo de validación descrito en la actividad 4. Se consideró el resultado de manera binaria, obteniendo un 1 si la prueba realizada fue exitosa y un 0 si no logró realizar la prueba. En el caso de las instrucciones, se registró con 1 si logró comprenderlas; y un 0 si no lo logra, o bien fuese necesario repetirlas.

Tabla 1. Resultados de validación clínica para las secuencias 1, 2 y randomizada.

	INT	RS1						RS2					RSR							
		RLB	T1	T2	T3	T4	T5	RLB	T1	T2	T3	T4	T5	RLB	T1	T2	T3	T4	T5	
Pac1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pac2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pac3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pac4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Para la etapa 7 del protocolo de validación, Registro de secuencia randomizada (RSR), cada paciente eligió qué secuencia usar y por consiguiente qué acción ejecutar, llamado de asistencia (A) o encender/apagar la luz (L). La selección de cada paciente se encuentra en la tabla 2. Si se considera que cada registro de secuencia tuvo 5 test (T) para cada paciente, se tiene que en RS1 hubo 20 test de llamado de asistencia y 20 de encendido/apagado de luz, más las elecciones realizadas por cada paciente en RSR, lo que arroja un total de 30 test para llamado de asistencia y 30 para encendido/apagado de luz. Es necesario aclarar que los resultados mostrados en la tabla 2 reflejan exclusivamente la secuencia elegida por cada paciente.

Tabla 2. Selección de acción a ejecutar elegida por cada paciente.

Pac1	A	L	A	L	A
Pac2	A	L	L	A	L
Pac3	A	L	L	L	A
Pac4	A	A	A	L	L

Los resultados fueron evaluados en función de:

- Matriz de confusión
- Sensibilidad
- Especificidad
- Exactitud (accuracy)
- Precisión

### Matriz de Confusión

Los resultados obtenidos muestran que para RS1, RS2 y RSR todos los pacientes tuvieron éxito en ejecutar la acción solicitada (caso RS1 y RS2) y elegida (caso RSR). En particular, hubo 30 ejecuciones correctas para llamado de asistencia de un total de 30 oportunidades en que debió ser ejecutada, y 30 ejecuciones correctas para encendido/apagado de luz de un total de 30 oportunidades en que debió ser ejecutada esta acción. Los resultados se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Matriz de confusión para las clases: Llamado de asisitencia (A) y encendido/apagado de luz (L), de acuerdo a lo solicitado o elegido versus lo ejecutado.

		Acción Ejecutada	
		A	L
Acción Solicitada o elegida	Clase 1 (A)	30	0
	Clase 2 (L)	0	30

### Sensibilidad

La Sensibilidad (equivalente a la tasa de positivos verdaderos) corresponde a la proporción de casos positivos que están bien ejecutados por el paciente, de acuerdo a lo solicitado o elegido. La definición matemática es:

$$\text{Sensibilidad} = \frac{VP}{(VP + FN)}$$

Para esta validación clínica, la sensibilidad obtenida es 1,0. Esto implica que un gesto facial ejecutado por el paciente con el fin de realizar una acción determinada tiene un 100% de probabilidad de ser correctamente clasificado por el sistema de reconocimiento de gestos faciales basado en visión computacional (prototipo) desarrollado durante este proyecto. Es decir, la acción se ejecuta siempre que el paciente la solicita a través de sus gestos faciales.

### Especificidad

La Especificidad (equivalente a la tasa de verdaderos negativos) corresponde a la proporción de casos negativos que están bien ejecutados por el paciente, de acuerdo a lo solicitado o elegido. La definición matemática es:

$$\text{Sensibilidad} = \frac{VN}{(VN + FP)}$$

Para esta validación clínica, la sensibilidad obtenida es 1,0. Destacando el hecho de no haber observado falsas alarmas. Es decir, no ejecutó una acción sin ser solicitada o elegida.

### **Accuracy**

En sistemas de clasificación la accuracy o exactitud se calcula como la fracción de clasificaciones correctas sobre el total de clasificaciones.

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{Clasificaciones correctas}}{\text{Todas las clasificaciones}}$$

De lo anterior se desprende, en función de los resultados observados en la matriz de confusión, que el sistema presenta gran exactitud. Perfecta para los casos observados.

### **Precisión**

Cuando se habla de precisión, se hace referencia a una medición realizada con una herramienta o implemento en particular y cuyo resultado siempre es similar cada vez que se lleva a cabo. Particularmente en esta validación se realizaron 5 test para cada acción en cada paciente, además de las acciones seleccionadas por el paciente. En ingeniería se evalúa la precisión como una medida de la desviación estándar observada. En este caso no hubo dispersión de datos, lo que muestra una notable precisión.

### **Consideraciones**

El paciente número 4, debido a su condición de salud (TEC), no presentó una diferencia evidente a la inspección visual respecto al movimiento de sus cejas. Esto implicó realizar un ajuste en la detección de umbral de movimiento en el software de reconocimiento de gestos faciales, logrando la detección una vez realizado el ajuste.

## **Conclusiones**

El presente proyecto permitió desarrollar un prototipo de sistema de reconocimiento de gestos faciales basado en visión computacional para la asistencia de pacientes con discapacidad motora severa crónica de Mutual de Seguridad CChC.

El prototipo fue validado en 4 pacientes obteniendo resultados favorables en todas las métricas estudiadas. Dicha validación se realizó en condiciones clínicas, considerando factores como iluminación, posición del paciente, entorno y condición de salud.

Como fortaleza del prototipo desarrollado, destaca el hecho de no ser invasivo, no requiere contacto con el paciente, disminuyendo todos los factores de riesgo asociados al contacto físico, tampoco requiere personal técnico especializado para su operación. Dada su portabilidad, puede ser usado en cualquier entorno, incluso domiciliario. El sistema puede ser personalizado, ajustado en cuanto a umbrales de activación, permitiendo el uso en casos donde el control de movimientos se encuentre restringido parcialmente, como ocurrió en uno de los pacientes en los que el prototipo fue validado.

El sistema, además, permite al usuario reforzar el uso correcto, pues entrega retroalimentación a través de un semáforo de luces leds, lo que facilita la comprensión y disminuye el tiempo de aprendizaje por parte del paciente.

En cuanto los resultados generales del proyecto, se consiguió lo siguiente:

1. Se diseñó e implementó un software de reconocimiento gestual de rostro.
2. Se desarrolló e implementó un sistema integrado de control para comunicación con dispositivos eléctricos o electrónicos disponibles en el entorno inmediato del paciente.
3. Se implementó un prototipo de sistema de asistencia para pacientes con discapacidad motora severa crónica de Mutual de Seguridad CChC.
4. Se validó clínicamente el prototipo desarrollado.

## **Recomendaciones**

Dados los favorables resultados obtenidos, se estima pertinente aumentar la gama de acciones a ejecutar por el modelo, permitiendo así impactar en la calidad de vida los pacientes grandes secueledos.

## REFERENCIAS

- Badhiwala, J. H., Wilson, J. R., & Fehlings, M. G. (2019). Global burden of traumatic brain and spinal cord injury. *The Lancet Neurology*, 18(1), 24–25. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(18\)30444-7](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(18)30444-7)
- Barclay, L., McDonald, R., Lentin, P., & Bourke-Taylor, H. (2016). Facilitators and barriers to social and community participation following spinal cord injury. *Australian Occupational Therapy Journal*, 63(1), 19–28. <https://doi.org/10.1111/1440-1630.12241>
- Chesani, F. H., Mezadri, T., Lacerda, L. L. V. de, Mandy, A., & Nalin, F. (2018). A percepção de qualidade de vida de pessoas com deficiência motora: diferenças entre cadeirantes e deambuladores. *Fisioterapia e Pesquisa*, 25(4), 418–424. <https://doi.org/10.1590/1809-2950/17018525042018>
- Darwish, S., Tsirikos, A. I., & Maguire, S. (2020). Rehabilitation following spinal cord injury. *Orthopaedics and Trauma*, 34(5), 315–319. <https://doi.org/10.1016/j.mporth.2020.06.009>
- González Echeverría, L., Price, Y., & Muñoz, L. A. (2011). Vivencia De Discapacidad Por Traumatismo De La Médula Espinal Y El Proceso De Rehabilitación. *Ciencia y Enfermería*, 17(1), 81–94. <https://doi.org/10.4067/s0717-95532011000100009>
- González, S., Tello, J., Silva, P., Lüders, C., Butelmann, S., Fristch, R., Solar, F., Rigo-righi, C., & David, P. (2012). Calidad de vida en pacientes con discapacidad motora to socio-demographic factors and mental health. *Revista Chilena de Neuro-Psiquiatria*, 50(1), 23–34.
- Grishchenko, I., Ablavatski, A., Kartynnik, Y., Raveendran, K., & Grundmann, M. (2020). *Attention Mesh: High-fidelity Face Mesh Prediction in Real-time*. 2–5. <http://arxiv.org/abs/2006.10962>
- James, S. L., Bannick, M. S., Montjoy-Venning, W. C., Lucchesi, L. R., Dandona, L., Dandona, R., Hawley, C., Hay, S. I., Jakovljevic, M., Khalil, I., Krohn, K. J., Mokdad, A. H., Naghavi, M., Nichols, E., Reiner, R. C., Smith, M., Feigin, V. L., Vos, T., Murray, C. J. L., ... Zaman, S. B. (2019). Global, regional, and national burden of traumatic brain injury and spinal cord injury, 1990-2016: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *The Lancet Neurology*, 18(1), 56–87. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(18\)30415-0](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(18)30415-0)
- Kartynnik, Y., Ablavatski, A., Grishchenko, I., & Grundmann, M. (2019). *Real-time Facial Surface Geometry from Monocular Video on Mobile GPUs*. 2–5. <http://arxiv.org/abs/1907.06724>
- Kumar, R., Lim, J., Mekary, R. A., Rattani, A., Dewan, M. C., Sharif, S. Y., Osorio-Fonseca, E., & Park, K. B. (2018). Traumatic Spinal Injury: Global Epidemiology and Worldwide Volume. *World Neurosurgery*, 113, e345–e363. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.02.033>
- Lamontagne, M. E., Gagnon, C., Allaire, A. S., & Noreau, L. (2013). Effect of rehabilitation length of stay on outcomes in individuals with traumatic brain injury or spinal cord injury: a systematic review protocol. *Systematic Reviews*, 2, 59. <https://doi.org/10.1186/2046-4053-2-59>
- Lynch, J., & Cahalan, R. (2017). The impact of spinal cord injury on the quality of life of primary family caregivers: A literature review. *Spinal Cord*, 55(11), 964–978. <https://doi.org/10.1038/sc.2017.56>
- Menter, R. R., Whiteneck, G. G., Chariifue, S. W., Gerhart, K., Solnick, S. J., Brooks, C. A., & Hughes, L. (1991). Impairment, disability, handicap and medical expenses of persons aging with spinal cord injury. *Paraplegia*, 29(9), 613–619. <https://doi.org/10.1038/sc.1991.90>

Ministerio de Desarrollo Social. (2016). II Estudio Nacional de Discapacidad. In *II Estudio Nacional de la Discapacidad en Chile*. [www.senadis.cl](http://www.senadis.cl)

MINSAL. (2019). Guía de Práctica Clínica Rehabilitación en Personas con Lesión Medular en Unidad de Paciente Crítico (UPC). *Diprece*.

Mota, D., & Ribeiro, M. B. (2016). Calidad de vida en portadores de lesión medular con úlceras por presión TT - Qualidade de vida em portadores de lesão medular com úlceras por pressão TT - Quality of life in patients with spinal cord injury and pressure ulcers. *Enferm. Glob*, 15(42), 13–21. [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1695-61412016002200002&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1695-61412016002200002&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

Nas, K., Yazmalar, L., Şah, V., Aydin, A., & Öneş, K. (2015). Rehabilitation of spinal cord injuries. *World Journal of Orthopedics*, 6(1), 8–16. <https://doi.org/10.5312/wjo.v6.i1.8>

Nussbaum, S. R., Carter, M. J., Fife, C. E., DaVanzo, J., Haught, R., Nusgart, M., & Cartwright, D. (2018). An Economic Evaluation of the Impact, Cost, and Medicare Policy Implications of Chronic Nonhealing Wounds. *Value in Health*, 21(1), 27–32. <https://doi.org/10.1016/j.jval.2017.07.007>

Paul M. Muchinsky. (2012). *Psychology Applied to Work: An Introduction to Industrial and Organizational Psychology, Tenth Edition Paul*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Peter, C., Müller, R., Cieza, A., & Geyh, S. (2012). Psychological resources in spinal cord injury: A systematic literature review. *Spinal Cord*, 50(3), 188–201. <https://doi.org/10.1038/sc.2011.125>

Pinchi, E., Frati, A., Cantatore, S., D'errico, S., La Russa, R., Maiese, A., Palmieri, M., Pesce, A., Viola, R. V., Frati, P., & Fineschi, V. (2019). Acute spinal cord injury: A systematic review investigating miRNA families involved. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(8). <https://doi.org/10.3390/ijms20081841>

Statement, O. C. (2014). Putting NICE guidance into practice Costing statement : Pressure ulcers Implementing the NICE guideline on. *National Institute for Health and Care Excellence*, June, 1–9. <https://www.nice.org.uk/guidance/cg179/resources/costing-statement-248688109>

WHO. (2011). International perspectives on spinal cord injury (IPSCI). *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation*, 16, 99–100. <http://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&PAGE=reference&D=emed10&NEWS=N&AN=70724512>

World Health Organization. (2011). Summary World Report On Disability. *World Health*, 1–24. [www.who.int/about/licensing/copyright\\_form/en/index.html](http://www.who.int/about/licensing/copyright_form/en/index.html) <http://www.larchetoronto.org/wordpress/wp-content/uploads/2012/01/launch-of-World-Report-on-Disability-Jan-27-121.pdf>

## ANEXOS

### Anexo 1

#### Consentimiento informado

**“Desarrollo de un sistema de reconocimiento de gestos faciales basado en visión computacional para la asistencia de pacientes con discapacidad motora severa crónica de Mutual de Seguridad CChC”**

**Innovador responsable:** Claudio Yerko Tapia Malebrán.

**Nombre del Investigador principal:** Claudio Yerko Tapia Malebrán.

**R.U.T:** 12440826-1

**Institución:** Facultad de Medicina - Universidad de Chile.

**Teléfono:** 984099523

**correo:** claudiotapia@uchile.cl

#### Invitación a participar:

Le invitamos a participar en el proyecto de innovación “Desarrollo de un sistema de reconocimiento de gestos faciales basado en visión computacional para la asistencia de pacientes con discapacidad motora severa crónica de Mutual de Seguridad CChC”, Este proyecto pretende desarrollar una herramienta de asistencia para personas en situación de dependencia motora. De igual forma el proyecto busca generar nuevo conocimiento científico relacionado al uso de inteligencia artificial, especialmente visión computacional, en el reconocimiento de patrones gestuales. Además de validar esta herramientas en usos clínicos.

#### Objetivos:

Desarrollar un sistema de reconocimiento de gestos faciales basado en visión computacional para la asistencia de pacientes con discapacidad motora severa crónica de Mutual de Seguridad CChC.

Objetivos específicos:

1. Diseñar y desarrollar un software de reconocimiento de gestos faciales mediante el procesamiento de imágenes de video.
2. Entrenar algoritmos de reconocimiento de gestos faciales basado en características de cada paciente.
3. Desarrollar un sistema de comunicación para control de dispositivos en tiempo real.
4. Validar clínicamente el sistema de reconocimiento de gestos faciales para control de dispositivos en tiempo real.
5. Evaluar adherencia y efectividad del uso del prototipo desarrollado.

#### Características del sistema

El sistema de reconocimiento de gestos faciales basado en visión computacional para la asistencia en tiempo real de pacientes con discapacidad motora severa crónica de Mutual de Seguridad CChC es invariante al usuario. Esto implica que es capaz de reconocer estos gestos en cualquier persona que pueda seguir instrucciones.

El funcionamiento está determinado por el reconocimiento de secuencias definidas de gestos faciales, que pueden ser personalizados de acuerdo a los requerimientos de cada paciente. Para

efectos de la validación clínica se usará un patrón común que detecte movimiento de cejas y de boca en los pacientes que participen de la actividad (figura 1).



Figura 1. Sistema de reconocimiento del movimiento de cejas y boca, mediante el uso de visión computacional.

### Procedimientos:

Si usted acepta formar parte de este proyecto, se le entregará un documento conteniendo un resumen del proyecto y este consentimiento informado, el cual deberá firmar el día de la medición. Luego de completar dicho documento se agendará un día para su evaluación presencial en el Hospital Mutual de Seguridad CChC. La sesión presencial tendrá una duración de aproximadamente 1 hr con un descanso de 15-20 minutos en caso de ser solicitado. De igual forma usted podrá solicitar más tiempo de descanso si lo necesita.

Las distintas pruebas se realizarán de manera presencial donde un kinesiólogo con más de 20 años de experiencia y un ingeniero experto en automatización un protocolo de validación clínica de sistema de reconocimiento de gestos faciales basado en visión computacional para la asistencia en tiempo real de pacientes con discapacidad motora severa crónica de Mutual de Seguridad CChC.

En todas las pruebas participará el mismo kinesiólogo experimentado, el cual estará acompañado del ingeniero.

### Protocolo de Validación

Se usará un protocolo basado en 7 etapas.

- **Instrucciones (INT):** Corresponde a las indicaciones que se entregarán al paciente para la posterior ejecución del protocolo. Se estima una duración de 5 minutos.
- **Registro de línea de base (RLB):** Se realizará un registro de video en condiciones de reposo gestual o en conversación no supervisada. Este registro se realizará por 2 minutos.
- **Registro de secuencia 1 (RS1),** llamado de asistencia: Este registro se realizará a través de la secuencia de movimientos definida (ceja/boca) y se considerará exitoso si el sistema reconoce dicha secuencia y se activa el llamado a enfermería (audio/sonido). Este registro consta de 5 trials con intervalo de 1 minuto (I1) de RLB entre ellos. La duración de cada trial estará determinada por el tiempo que demore el paciente en realizar la secuencia programada.
- **Registro de línea de base:** Se realizará un registro en condiciones de reposo gestual o en conversación no supervisada. Este registro se realizará por 2 minutos.
- **Registro de secuencia 2 (RS2),** encendido y apagado de luces: Este registro se realizará a través de la secuencia de movimientos definida (ceja/boca) y se considerará exitoso si el sistema reconoce dicha secuencia y logra encender y apagar la iluminación de la habitación. Este registro consta de 5 trials con intervalo de 1 minuto de RLB entre ellos. La duración de cada trial estará determinada por el tiempo que demore el paciente en realizar la secuencia programada.

- **Registro de línea de base:** Se realizará un registro en condiciones de reposo gestual o en conversación no supervisada. Este registro se realizará por 2 minutos.
- **Registro de secuencia randomizada (RSR),** elegida por el paciente: Este registro se realizará a través de la secuencia de movimientos (ceja/boca) realizada a voluntad por el paciente y se considerará exitoso si el sistema reconoce dicha secuencia y logra encender y apagar la iluminación de la habitación o activar el llamado a enfermería (audio/sonido) según corresponda. Este registro consta de 5 trials con intervalo de 1 minuto entre ellos. La duración de cada trial estará determinada por el tiempo que demore el paciente en realizar la secuencia programada.

### **Riesgos:**

En este proyecto de investigación el método será no invasivo, sin contacto con la piel de la persona, la evaluación no genera ningún riesgo para su salud ya que sólo corresponden a gestos faciales. Dentro de los eventos esperables, sólo se encuentra el cansancio.

Si usted presenta algún evento adverso que considere que fue producido por la intervención y necesita una evaluación y/o tratamiento debe comunicarse con el investigador responsable (Claudio Tapia, 984099523, correo electrónico: claudiotapia@uchile.cl).

### **Costos:**

Las evaluaciones realizadas no conllevarán ningún gasto económico directo para usted. Elementos de protección contra el COVID-19 (como mascarillas KN95 y alcohol gel) y colación serán entregados por Hospital Mutual de Seguridad CChC.

### **Beneficios:**

Los beneficios de la participación en este estudio serán: el desarrollo de un sistema de reconocimiento de gestos faciales basado en visión computacional para la asistencia de pacientes con discapacidad motora severa crónica de Mutual de Seguridad CChC.

Además, tiene beneficios no directos, ya que aportará a la generación de nuevo conocimiento científico relacionado a situaciones de dependencia motora y validación de herramientas tecnológicas de asistencia para estas personas.

### **Compensación:**

Usted no recibirá una compensación económica por su participación en el estudio.

### **Confidencialidad:**

Toda la información derivada de su participación en este estudio será conservada en estricta confidencialidad. Adicionalmente, la identidad de los participantes de la investigación será codificada mediante sus iniciales, asegurando anonimato. Por lo anterior, las únicas personas que tendrán conocimiento de su identidad serán las personas encargadas de realizar las mediciones.

El uso de esta información se limitará de manera exclusiva a docencia e investigación (publicaciones científicas, docencia y congresos).

### **Voluntariedad:**

Su participación en esta investigación es totalmente voluntaria y se puede retirar en cualquier momento comunicándose al innovador principal Claudio Tapia y/o innovador alterno Carlos Cruz Montecinos, sin que ello signifique modificaciones en el estudio ni un perjuicio para usted.

### **Complicaciones:**

No existen complicaciones, pues el sistema es no invasivo, no requiere contacto y solo se solicitará levantar las cejas y abrir la boca.

**Derechos del participante:**

Usted recibirá una copia íntegra y escrita de este documento firmado. Si usted requiere cualquier otra información sobre su participación en este estudio puede comunicarse con:

Nombre del Investigador principal: Claudio Tapia Malebrán

Teléfono: 984099523

correo electrónico: [claudiotapia@uchile.cl](mailto:claudiotapia@uchile.cl)

Los resultados de las pruebas físicas serán entregados de manera individual vía correo electrónico a cada participante. Los resultados serán entregados de manera simple de tal manera que todos los participantes logren comprender la significancia clínica de los resultados.

**Conclusión:**

Después de haber recibido y comprendido la información de este documento y de haber podido aclarar todas mis dudas, otorgo mi consentimiento para participar en el proyecto **“Desarrollo de un sistema de reconocimiento de gestos faciales basado en visión computacional para la asistencia de pacientes con discapacidad motora severa crónica de Mutual de Seguridad CChC”**.

Nombre del sujeto  
Rut.

Firma

Fecha

Nombre del investigador  
Rut.

Firma

Fecha