

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Eléctrica**

**IE0499 – Proyecto Eléctrico**

**Desarrollo de un algoritmo de modelaje de plantillas  
faciales a partir de marcadores faciales MoCap  
etiquetados automáticamente**

por

**Pablo Angulo Carvajal**

**Ciudad Universitaria Rodrigo Facio**

Julio de 2020



# **Desarrollo de un algoritmo de modelaje de plantillas faciales a partir de marcadores faciales MoCap etiquetados automáticamente**

por

**Pablo Angulo Carvajal**

B50445

**IE0499 – Proyecto Eléctrico**

Aprobado por

---

Dr. rer. nat. Francisco Siles Canales

*Profesor guía*

---

M. Sc. Denise Dajles Kellerman  
*Profesor lector*

---

Ing. Juan José Delgado Quesada  
*Profesor lector*

Julio de 2020



# Índice general

<b>Índice general</b>	<b>v</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>vi</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>vi</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes . . . . .	2
1.2. Alcance . . . . .	2
1.3. Justificación . . . . .	3
1.4. Objetivos . . . . .	3
1.4.1. Objetivo General . . . . .	3
1.4.2. Objetivos Específicos . . . . .	3
1.5. Metodología . . . . .	4
<b>A Reglamento del curso de Proyecto Eléctrico</b>	<b>5</b>

## **Índice de figuras**

## **Índice de tablas**

# Introducción

Las máquinas y las computadoras se han vuelto ubicuas en el mundo moderno, de manera que dependemos de ellas para desarrollar nuestro trabajo, nuestras vidas sociales, nuestro aprendizaje y nuestro entretenimiento como seres en sociedad. La forma en la que interactuamos y controlamos con estas máquinas se vuelve necesariamente universal para poder facilitar la operación de estas a distintas personas con capacidades y necesidades variadas, especialmente personas con discapacidades motoras.

Para alcanzar esta universalidad es necesario alcanzar la redundancia de tener disponibles varias maneras de realizar una misma tarea, mediante interfaces cuerpo-máquinas distintas a las prototípicas como lo son, por ejemplo, *mouse* y *teclados*. La forma usual de interactuar con estas máquinas y computadoras es mediante interfaces cuerpo-máquina o BMI (Body-Machine interfaces); si bien el *mouse* y el *teclado*, mencionados anteriormente, además de dispositivos como controles analógicos se encuentran en la categoría de BMI, este proyecto hace mención de BMI en referencia a interfaces alternativas a estas interfaces usuales. Las BMI usualmente toman ventaja de la redundancia y la flexibilidad del sistema de control motor del cuerpo; ya que se puede entrenar el cuerpo a re-asociar las distintas formas que se utilizan para controlar la motora para adaptarse a nuevas circunstancias, como lo es la pérdida de control de ciertas mociones, extremidades. etc. [1]

El reconocimiento facial y de las expresiones posibles por las caras humanas ha sido un área de estudio por varios años; ya que las expresiones faciales se asocian a las emociones de los humanos y se pueden utilizar desde retroalimentación para el aprendizaje de AI (inteligencia artificial) hasta métodos de control de máquinas. El alcance de métodos basado en modelos e imágenes 2D de caras humanas es limitado ya que usualmente requieren de buena iluminación, y se restringe la posición a únicamente un área pequeña donde opere el sensor de captura de imagen [2]. Un acercamiento mediante modelos 3D como lo es el MoCap facial permite mucho mayor rango de movimiento de un sujeto y puede llegar a capturar mejor algunas de las complejidades de los cambios de expresiones faciales.

Este proyecto propone aportar a la creación de nuevas interfaces cuerpo-máquina que tomen provecho de la identificación de expresiones faciales por marcadores de MoCap mediante la creación de plantillas faciales con marcadores etiquetados de tomas existentes; estas plantillas faciales y la etiquetación automática de los marcadores acelerarían el procesamiento de las tomas faciales para su identificación, lo cual en la actualidad presenta ser un proceso tedioso con la capacidad de ser asignado a una computadora para modelar dichas plantillas faciales. Una interfaz gráfica para designar los parámetros

iniciales para el procesamiento de las capturas y mostrar el resultado permitiría disminuir la barrera de entrada para el uso del software y el algoritmo de creación de plantillas.

## 1.1. Antecedentes

El rastreo de movimiento y posicionamiento de objetos en un espacio tridimensional ha sido un tema de estudio por mucho tiempo; desde sistemas tan antiguos como lo son los inicios del famoso “radar” [3] hasta el uso de equipo de MoCap como el usado en este proyecto. La tecnología de computación moderna permita utilizar la información de este posicionamiento para modelar cuerpos en un espacio tridimensional virtual, y reconocer poses y movimientos.

En colaboración con el PRIS-Lab, el laboratorio de reconocimiento de patrones y sistemas inteligentes de la Escuela de ingeniería eléctrica de la Universidad de Costa Rica, se realiza el proyecto en cuestión. El PRIS-Lab cuenta con equipo necesario para el rastreo de marcadores de MoCap de OptiTrack, además de un ambiente apto para la investigación y experimentación con este equipo. El sistema de OptiTrack se encuentra en posesión del grupo MOVE del PRIS-Lab, el cual se especializa en el análisis del movimiento humano y el desarrollo de sistemas que toman ventaja del procesamiento de la información de estos movimientos. El grupo MOVE ha trabajado en colaboración con el grupo CORE, de implementación de sistemas inteligentes en la robótica, en proyectos como *Terisa*, el cual consiste en el desarrollo de sistema de para la telepresencia de pacientes con esclerosis lateral amiotrófica, condición que progresivamente deteriora las neuronas y el tejido nervioso responsable por el control voluntario de los músculos del cuerpo. [4]

El PRIS-Lab tiene varios otros proyectos tocando la temática del modelado 3D utilizando MoCap (Normalización de cuerpos tridimensionales) [5] y de telepresencia (Telepresencia robótica utilizando LeapMotion) [6] mostrando como es un ambiente ideal para desarrollar un sistema de modelado facial 3D y sistemas basados en este modelado.

## 1.2. Alcance

El proyecto consiste en la implementación de un algoritmo apropiado para formar las plantillas faciales a partir de la posición de los marcadores faciales MoCap en las capturas; mediante la identificación de los marcadores por su posición se forma un *esqueleto* del modelo 3D de la superficie facial al armar uniones entre marcadores y se etiquetan los marcadores para mantener su identificación según la posición en los vértices 3D y acelerar el procesamiento de las capturas en términos de la etiquetación.

Además se desarrolla una interfaz gráfica para facilitar el uso del algoritmo de creación de plantillas el cual permite ingresar el número de marcadores en uso, y la posición de referencia para etiquetar los marcadores. Si se considera relevante se implementaría calibración de marcadores por posiciones o expresiones de referencia, en caso de que esto ayude al algoritmo a realizar su función.



## 1.3. Justificación

Un algoritmo el cual reduzca el tiempo de etiquetación de marcadores y permita la creación de plantillas faciales es de gran utilidad para proyectos subsecuentes los cuales al momento presente deben etiquetar manualmente los marcadores y no cuentan con el beneficio de formar la plantilla facial simultáneamente en caso de necesitarla para el modelado de la superficie facial.

El proceso de etiquetado manual de marcadores es un proceso tedioso, repetitivo y afectado por el error humano; la automatización de este proceso mediante el uso de algoritmos de identificación por posicionamiento 3D es de gran ayuda para acelerar el procesamiento de las capturas de MoCap y se pretende utilizar para ayudar con la creación de interfaces cuerpo-máquina como se propone en el proyecto de telepresencia *Terisa*, y proyectos como el uso del reconocimiento de expresiones faciales humanas como retroalimentación para máquinas y software o como interfaz alternativa de control.

## 1.4. Objetivos

### 1.4.1. Objetivo General

Desarrollar un algoritmo e implementar una interfaz para la creación de plantillas faciales por capturas de marcadores faciales de MoCap los cuales sean etiquetados automáticamente por el algoritmo en cuestión.

### 1.4.2. Objetivos Específicos

1. Realizar una investigación bibliográfica acerca de los métodos de tracking de marcadores faciales MoCap, y de algoritmos de clasificación de puntos en un espacio tridimensional.
2. Determinar el software necesario para el procesamiento y identificación de marcadores, e interfaz de uso del modelador de plantillas faciales.
3. Diseñar el algoritmo de identificación, capaz de formar las plantillas faciales etiquetando los marcadores y formando un robusto esqueleto facial tridimensional.
4. Validar cuantitativamente el algoritmo de creación de plantillas mediante la comparación de los vértices 3D de una captura respecto a un modelo de referencia conocido.
5. Modificar la interfaz para facilitar el uso del modelador de plantillas faciales.
6. Divulgar los resultados mediante un informe técnico, la presentación del informe, un artículo formato IEEE, un vídeo corto y la participación en el PRIS-Seminar 2020.

## 1.5. Metodología

1. Realizar una investigación bibliográfica en artículos académicos y proyectos en la industria de MoCap de métodos de identificación de marcadores y el rastreo de estos marcadores a lo largo de los movimientos realizados.
2. Hacer un acercamiento al software utilizado para tomar los datos generados por el sistema de rastreo MoCap disponible en el PRIS-Lab.
3. Identificar que software y métodos de programación se utilizan para el rastreo de objetos en ambientes tridimensionales virtuales.
4. Implementar un algoritmo apropiado basado en la investigación bibliográfica previa, mediante el software escogido, que permita identificar varios puntos diferenciados en un ambiente tridimensional virtual.
5. Comparar las plantillas generadas por el algoritmo y la etiquetación de los marcadores con modelos faciales de referencia con posiciones predeterminadas
6. Instalar del ambiente de desarrollo Qt para la creación de la interfaz gráfica como *frontend* de la aplicación.
7. Completar el un reporte técnico donde se detalla el desarrollo del proyecto junto con la teoría utilizada como su base.
8. Crear un artículo académico en formato IEEE describiendo el proyecto presente.
9. Realizar un vídeo corto el cual explique el proyecto presente y demuestre su funcionamiento.

## Reglamento del curso de Proyecto Eléctrico

Aprobado por el Consejo Asesor de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Costa Rica en sesión del día miércoles 10 de marzo de 2017.

### Capítulo I. Generalidades del curso

#### Artículo 1 – Descripción

IE0499 – Proyecto Eléctrico es un curso semestral bajo la modalidad de trabajo individual supervisado, con el propósito de aplicar estrategias de diseño y análisis a un problema de temática abierta de la ingeniería eléctrica. Es un requisito de graduación para el grado de bachiller en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Costa Rica.

#### Artículo 2 – Propuesta y selección del tema del proyecto

IE0499 – Proyecto Eléctrico es un curso colegiado paralelo, según la definición del Reglamento sobre Departamentos, Secciones y Cursos, en su Artículo 8, inciso b). Todo profesor de la Escuela puede proponer temas y objetivos de trabajo para que un estudiante lo desarrolle durante el semestre. La asignación del tema de Proyecto Eléctrico es un acuerdo directo entre el profesor guía y el estudiante y se formaliza mediante la presentación de un anteproyecto en el tiempo y forma indicados por la coordinación del curso.

#### Artículo 3 – Objetivo didáctico

El curso combina teoría y práctica. Preferiblemente, el proyecto tiene el diseño -entendido como la concepción y ejecución de la solución a un problema- como objetivo principal, mientras que promueve la integración de conocimientos, sin perjuicio de otros objetivos distintos establecidos por los profesores guías.

#### Artículo 4 – Requisitos de matrícula

Solamente podrán matricular el curso IE0499 – Proyecto Eléctrico, aquellos estudiantes que vayan a cursar el último semestre del plan de estudios de Bachillerato en Ingeniería Eléctrica. Se entiende que un estudiante se encuentra matriculado en último semestre, si con las materias y actividades que está cursando en ese ciclo, completa su programa de Bachillerato en Ingeniería Eléctrica.

#### Artículo 5 – Levantamiento de requisitos

El profesor guía puede solicitar el levantamiento de los requisitos del Artículo 4. Se deberá demostrar la conveniencia de este cambio y que el estudiante está lo suficientemente avanzado en la

carrera como para realizar el proyecto con los objetivos propuestos.

## **Capítulo II. Responsabilidades de los participantes del Proyecto Eléctrico**

### **Artículo 6 — Responsabilidades del estudiante**

El estudiante planifica el proyecto junto con el profesor guía y ejecuta el trabajo. Es el principal responsable del cumplimiento de los plazos establecidos. Se encarga de presentar los documentos requeridos a la coordinación del curso. Se le insta a participar de las sesiones de orientación con temas de interés para el trabajo del proyecto.

### **Artículo 7 — Responsabilidades del profesor guía**

El profesor guía es el encargado de la supervisión y orientación del estudiante durante la elaboración del proyecto. Es el responsable de autorizar la presentación del trabajo ante el tribunal si el avance es satisfactorio, según los plazos y recomendaciones de la coordinación del curso. Debe firmar el acta de aprobación del trabajo escrito.

Se considerarán profesores guías del curso IE0499 – Proyecto Eléctrico, a todos los profesores que estén supervisando a un estudiante que se encuentre matriculado en él.

### **Artículo 8 — Responsabilidades del profesor coordinador**

El profesor coordinador se rige por el Artículo 10 del Reglamento sobre Departamentos, Secciones y Cursos. En general, supervisa y ejecuta los trámites administrativos del curso y resuelve contingencias. Elabora el programa del curso, donde se especifican todos los detalles de trámites y plazos para el semestre respectivo y administra los medios electrónicos del curso.

Además, el profesor coordinador organiza las sesiones de orientación, según se describen en el Artículo 14 de este reglamento.

### **Artículo 9 — Responsabilidades de los profesores lectores**

Los profesores lectores revisan los avances del proyecto durante el semestre, colaboran en su ejecución como orientadores y son parte del tribunal examinador en la presentación oral, junto al profesor guía. Deben firmar el acta de aprobación del trabajo escrito.

### **Artículo 10 — Requisitos de los profesores lectores**

Los miembros del Tribunal deben ser al menos bachilleres universitarios y ser profesores de la Universidad de Costa Rica. En casos especiales, el profesor guía podrá levantar el requisito de ser profesor universitario para así poder integrar el tribunal con personas calificadas que no tengan una relación formal con la Universidad, pero que tengan los méritos académicos y profesionales necesarios para evaluar la elaboración del proyecto.

## **Capítulo III. Actividades y evaluaciones semestrales**

### **Artículo 11 — El anteproyecto**

El estudiante matriculado en el curso IE0499 – Proyecto Eléctrico deberá presentar un anteproyecto al coordinador, en el tiempo y forma especificados en programa del curso. El anteproyecto representa la formalización del trabajo a realizar junto con los profesores encargados.

Contiene, como mínimo:

- Identificación del estudiante
- Título del proyecto
- Objetivo general y objetivos específicos

- Nombres del profesor guía y de los otros miembros del Tribunal, cada uno con el visto bueno respectivo
- Declaración de que está matriculando su último semestre
- Clasificación temática del proyecto

Sus contenidos pueden modificarse con la aprobación del profesor guía, a lo largo del semestre. La no entrega del documento implica la pérdida del curso con nota cero (excepto si el estudiante realiza el retiro de matrícula).

#### **Artículo 12** — *Rubros de evaluación*

La nota del proyecto se divide en tres rubros principales:

- a) Trabajo semestral: el total de actividades y avances que el estudiante realiza y que presenta a los profesores.
- b) Trabajo escrito: un compendio de la teoría, el diseño o análisis y los resultados del proyecto, con el contenido y formato detallados en el Artículo 15.
- c) Presentación oral: una exposición del trabajo realizado frente al tribunal examinador, según se amplía en el Artículo 21.

Los porcentajes asignados a cada rubro son especificados por el coordinador del curso al principio del semestre.

#### **Artículo 13** — *Rúbrica de evaluación*

La rúbrica de evaluación es una guía para la evaluación del estudiante y es el criterio recomendado para la asignación de la nota correspondiente de los rubros del Artículo 12. La rúbrica es publicada por el profesor coordinador al inicio del semestre.

#### **Artículo 14** — *Sesiones de orientación*

Estas clases grupales tienen el objetivo de instruir sobre la redacción de proyectos, comunicación escrita y oral, aspectos metodológicos y bibliográficos, así como otros temas de contenido investigativo y metodológico útiles para la creación de un proyecto académico, y así reforzar destrezas pertinentes de los estudiantes.

#### **Artículo 15** — *Contenido y formato del trabajo escrito*

El trabajo escrito tiene un formato preestablecido que es fijado por la Escuela. Se debe proveer a los estudiantes de plantillas en diferentes sistemas de edición de texto y herramientas de ofimática para que se edite conforme.

El contenido del proyecto varía dependiendo de la naturaleza del mismo, sin embargo, la estructura general utiliza como referencia el Anexo I del Reglamento de Trabajos Finales de Graduación.

#### **Artículo 16** — *Entrega del borrador final*

El estudiante deberá entregar a cada uno de los miembros del tribunal un borrador final del proyecto, en la semana que estipule el programa del curso.

#### **Artículo 17** — *Decisión de final de semestre*

Hacia el final del semestre, en la semana indicada por la coordinación, y considerando el trabajo y los avances hechos hasta el momento por el estudiante, el profesor guía debe optar por una de tres opciones:

- a) Presentación del proyecto en período regular.
- b) Solicitud de prórroga.
- c) No continuidad del curso (reprobación).

Los criterios se presentan a continuación.

**Artículo 18** — *Criterios para la aprobación de la presentación*

Para la aprobación de la presentación del proyecto en período regular se sugiere a los profesores guías los siguientes criterios no vinculantes, para evaluar si el nivel de avance es satisfactorio:

- a) Respecto a la parte funcional del proyecto (simulación, diseño, implementación, análisis, etc.): tiene un nivel de avance tal que el trabajo restante está dedicado al mejoramiento y refinamiento, y no a desarrollar todavía los componentes sustanciales o a la reformulación del proyecto.
- b) Respecto al desarrollo teórico que fundamenta la parte funcional: ha sido especificado en su totalidad, aunque pueda necesitar más desarrollo, investigación o escritura.
- c) Respecto a los aspectos de forma: el borrador ha sido presentado en el formato establecido, aunque es probable que requiera más ajustes antes de la entrega final.

La decisión, en cualquier caso, recae sobre el profesor guía.

**Artículo 19** — *La prórroga*

La prórroga es un período adicional de hasta 30 días hábiles para finalizar y presentar el proyecto. Esta solicitud debe ser aprobada por la coordinación del curso. Respecto a las justificaciones, son válidas aquellas que son atribuibles a fuerza mayor (por ejemplo, cuando se depende de equipos o procesos de terceros) pero no a la planificación del trabajo, la inconstancia del trabajo del estudiante o al dimensionamiento de sus objetivos. Si el estudiante no aprueba el curso en período de prórroga, la nota del curso será asignada por el profesor guía y será de 6.0 o 6.5.

**Artículo 20** — *Reprobación del curso*

Cuando no se satisfacen los requisitos de los Artículos 18 y 19, o a criterio del profesor, el estudiante quedará reprobado. La nota del curso será asignada por el profesor guía y será igual o menor a 5.5.

**Artículo 21** — *Presentación oral*

Todo trabajo final escrito que resulte del curso IE0499 – Proyecto Eléctrico, culminará con una presentación oral del mismo, el día que establezca el coordinador, de acuerdo con el cronograma del programa del curso.

Aprobado el informe final escrito por el profesor guía, el estudiante solicitará al coordinador del curso que le asigne lugar, fecha y hora, para la presentación oral del proyecto.

El tribunal examinador se reunirá en el lugar, fecha y hora indicadas, para evaluar el proyecto; presidirá el profesor guía. El estudiante hará una breve exposición de máximo 20 minutos acerca de su proyecto, después de la cual será interrogado por los miembros del tribunal, acerca de aspectos propios del trabajo.

**Artículo 22** — *Acta de finalización*

Una vez terminada la presentación, el tribunal deliberará sobre ésta, teniendo en cuenta todos los aspectos involucrados en dicho trabajo y otorgará la nota correspondiente al curso, de acuerdo al Capítulo VII del Reglamento de Régimen Académico Estudiantil. Logrado el consenso entre los miembros del tribunal, el presidente llamará al candidato y le hará saber del resultado obtenido.

Para el desarrollo y la presentación oral del trabajo final resultante, se constituirá un tribunal compuesto por el profesor guía y los otros dos miembros nominados en el Anteproyecto, estos últimos nombrados por el profesor guía escuchando las sugerencias del estudiante. De lo actuado en la presentación oral, se levantará un acta que firma-

rán los miembros del Tribunal y el estudiante.

El Tribunal tomará sus decisiones por simple mayoría.

**Artículo 23** — *Nota del curso*

La nota del curso se especifica en el acta de presentación oral o bien por medio de un reporte del profesor guía al profesor coordinador, en los casos de prórroga o reprobación, según se especifica en los Artículos 19 y 20.

**Artículo 24** — *Materiales a entregar para los trámites de graduación*

Es necesario entregar a la secretaría de la Escuela al menos dos versiones impresas y firmadas del trabajo escrito.

La coordinación del curso especificará el detalle de otros materiales a entregar como parte de los requisitos del estudio de graduación.

**Artículo 25** — *Mecanismo para la resolución de conflictos*

El curso IE0499 – Proyecto Eléctrico admite apelaciones igual que cualquier otro curso de la Universidad: se debe seguir un orden para la resolución de conflictos, empezando por el profesor guía, el profesor coordinador, la dirección de la Escuela y las instancias universitarias que sean necesarias. Son susceptibles de apelaciones las notas de evaluación y las decisiones del tribunal examinador.

**Artículo 26** — *Propiedad intelectual*

Según las normas de la Universidad de Costa Rica.

**Artículo 27** — *Programa del curso*

El profesor coordinador publicará el programa del curso al principio de cada semestre, donde se especificará los detalles de aplicación, incluyendo fechas de entrega de documentos y otras actividades.

**Capítulo IV. Otros asuntos**





## Bibliografía

- [1] Maura Casadio, Rajiv Ranganathan, and Ferdinando A. Mussa-Ivaldi, "The body-machine interface: A new perspective on an old theme," *Journal of motor behavior*, vol. 44, 2012.
- [2] Jun Wang, Lijun Yin, Xiaozhou Wei, and Yi Sun, "3D facial expression recognition based on primitive surface feature distribution," in *2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'06)*, vol. 2, 2006, pp. 1399–1406.
- [3] P. Sim. (2014) Making waves: Robert watson-watt, the pioneer of radar. [Online]. Available: <https://www.bbc.com/news/uk-scotland-tayside-central-27393558>
- [4] Melissa Fallas Sanabria, "Esclerosis lateral amiotrófica," *Revista Médica de Costa Rica y Centroamérica*, vol. 67(591), pp. 89–92, 2010.
- [5] N. A. Jiménez, "Desarrollo de un algoritmo para la normalización de un cuerpo tridimensional utilizando archivos bvh," *Technical report*, 2019.
- [6] J. P. Ávila López, "Desarrollo de un sistema de telepresencia robótica integrando osvr, leap motion y nao para personas con motora reducida," *Technical report*, 2017.