

**Departamento de Ciencias de la Computación  
Carrera de Software**

**Trabajo de Unidad de Integración Curricular, previo a la obtención del  
título de Ingeniero de Software**

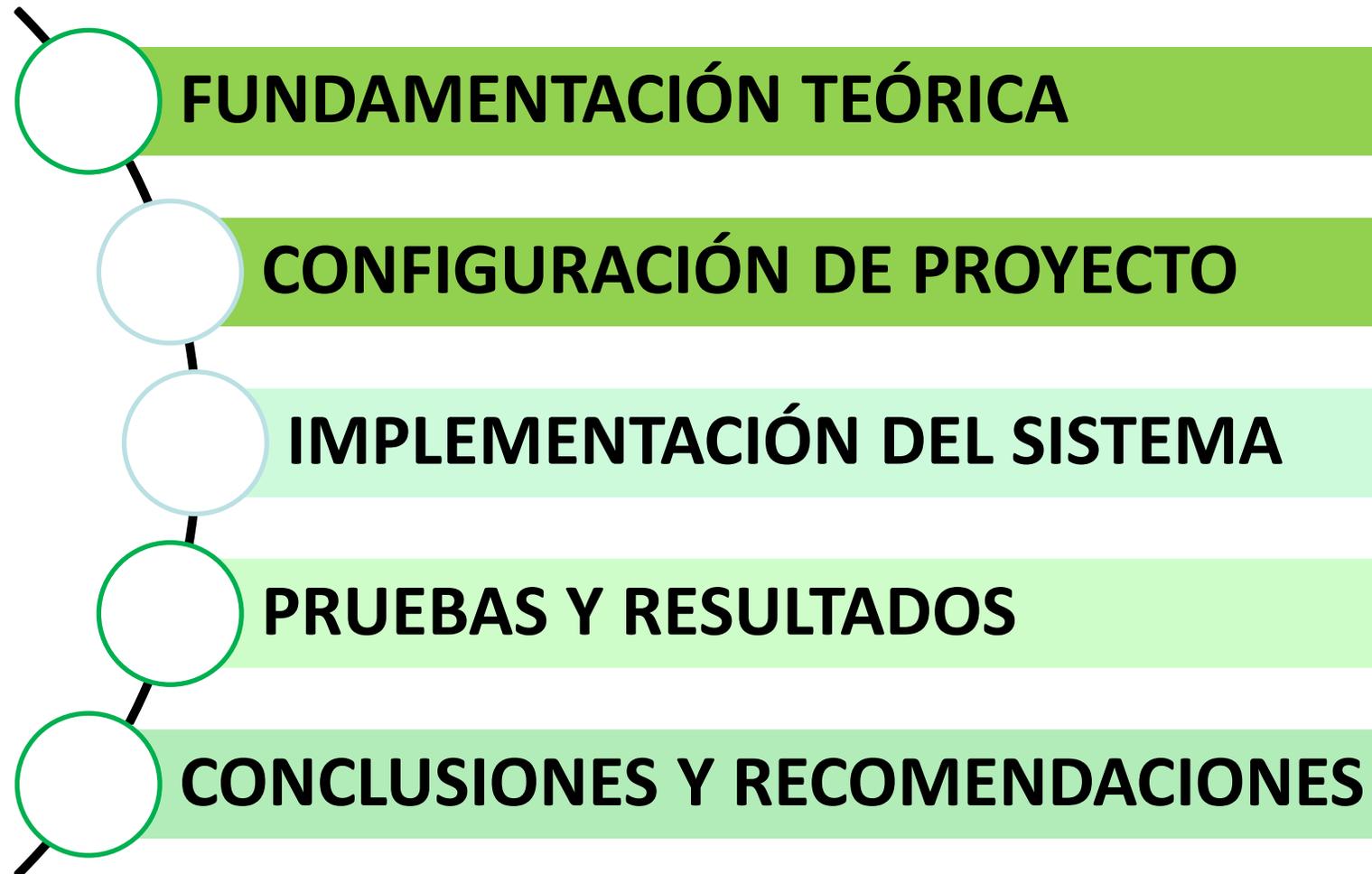
**Tema: DESARROLLO DE UNA SOLUCIÓN BACK-END PARA EVALUAR LA USABILIDAD EN  
PÁGINAS WEB MEDIANTE ANÁLISIS DE SEGUIMIENTO OCULAR Y SU IMPACTO EN LA MEJORA  
DE LA NAVEGACIÓN Y LA EFICIENCIA EN LA EXPERIENCIA DEL USUARIO.**

**Autores:** Mina Puruncajas, Kevin Hernán  
Saá Lomas, Byron David

**Director:** Phd. Espinosa Gallardo, Edison Gonzalo

**Latacunga, Febrero 2024**





## INTRODUCCIÓN



### EXPERIENCIA DE USUARIO

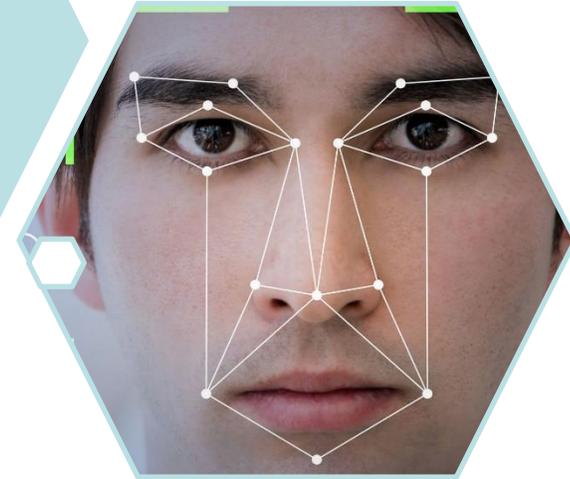
- Satisfacción
- Facilidad de aprendizaje



- ### VISIÓN ARTIFICIAL
- Seguimiento ocular
  - Mapas de calor

### USABILIDAD EN PÁGINAS WEB

- Métricas de Calidad
- Eficiencia
- Efectividad



## OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una Solución Back-End para la evaluación de la usabilidad en páginas Web mediante análisis de seguimiento ocular y su impacto en la mejora de la navegación y la eficiencia en la experiencia del Usuario.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Investigar y recolectar información acerca de las tecnologías más adecuadas para la implementación una interfaz de programación de aplicaciones “API” de seguimiento ocular, considerando factores esenciales.

Diseñar e implementar la infraestructura necesaria para la recopilación de datos de seguimiento ocular de los usuarios mientras navegan por un sitio web.

Desarrollar algoritmos de análisis de datos de seguimiento ocular que identifiquen patrones de atención del usuario, centrándose en áreas específicas de las páginas web.

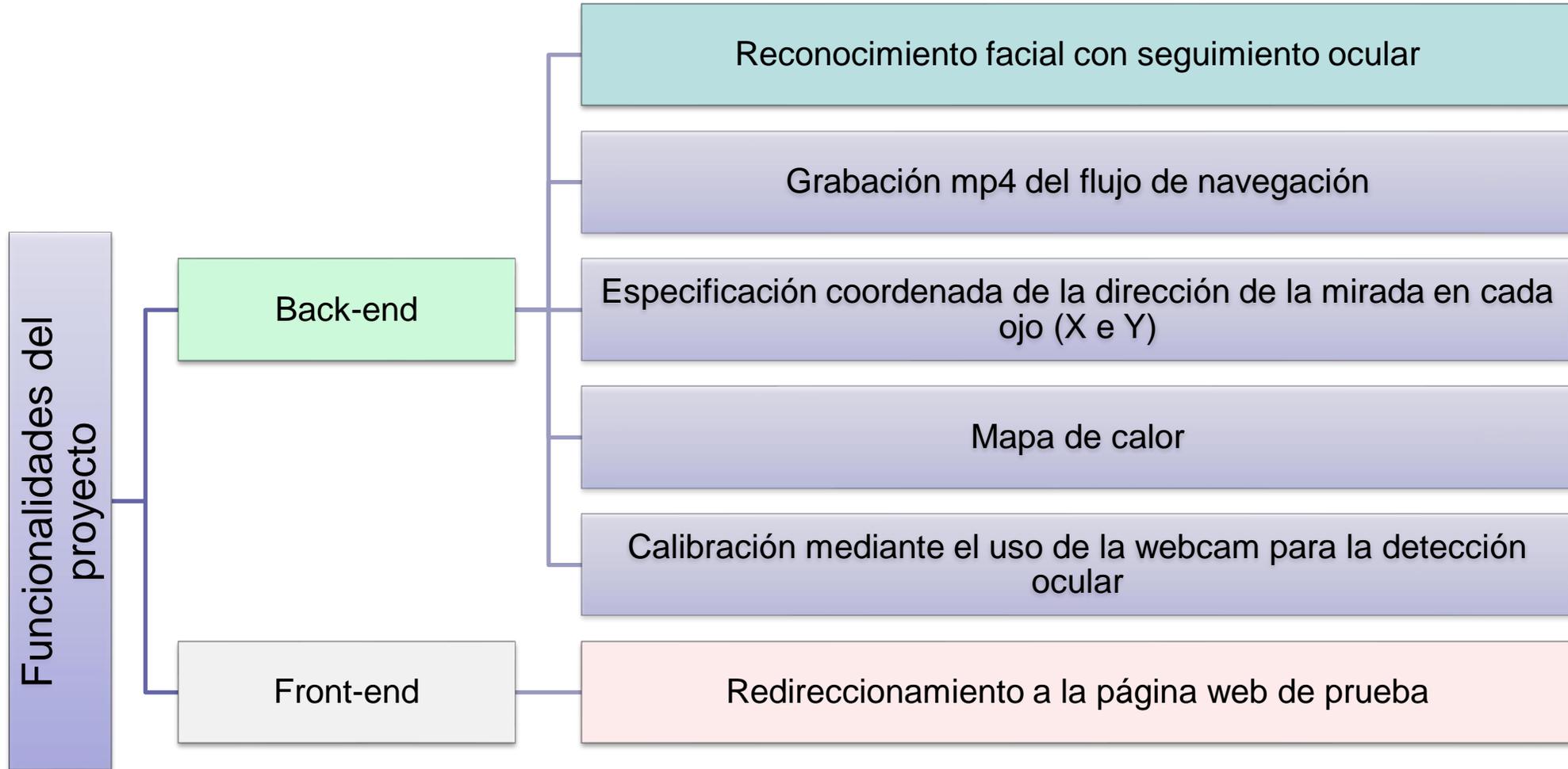
Integrar la API de seguimiento ocular en el diseño del sitio web seleccionado garantizando su compatibilidad con los distintos navegadores.

Establecer métricas cuantitativas y cualitativas para la evaluación de la usabilidad del sitio web utilizando los datos recopilados por la API de seguimiento ocular.

## SEGUIMIENTO OCULAR COMO TÉCNICA DE MEDICIÓN

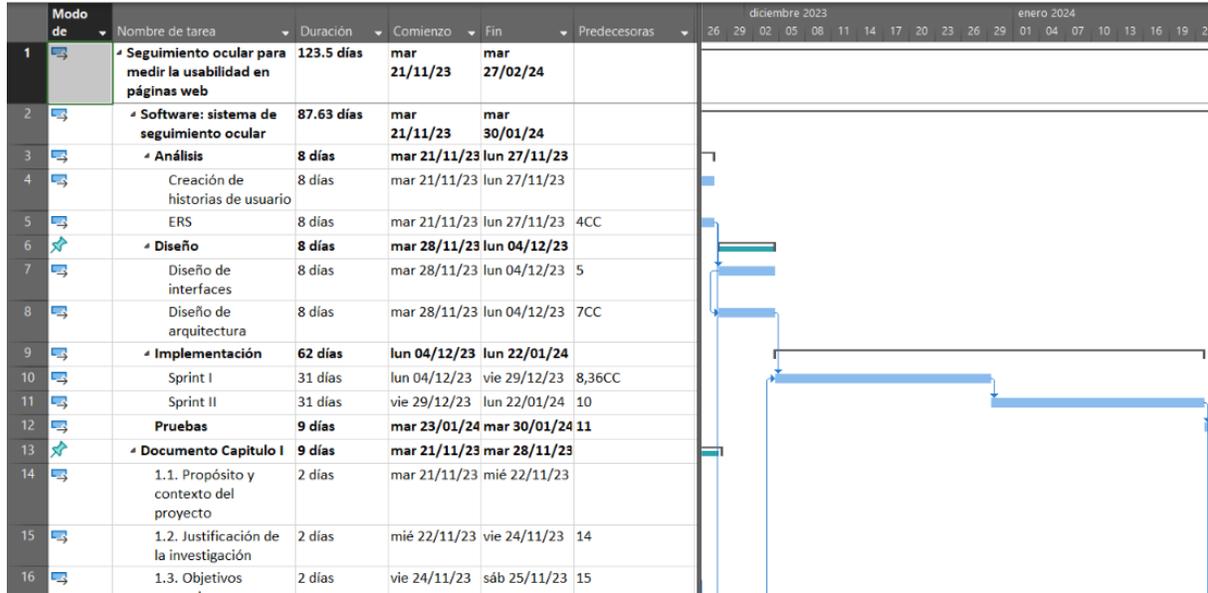


# DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

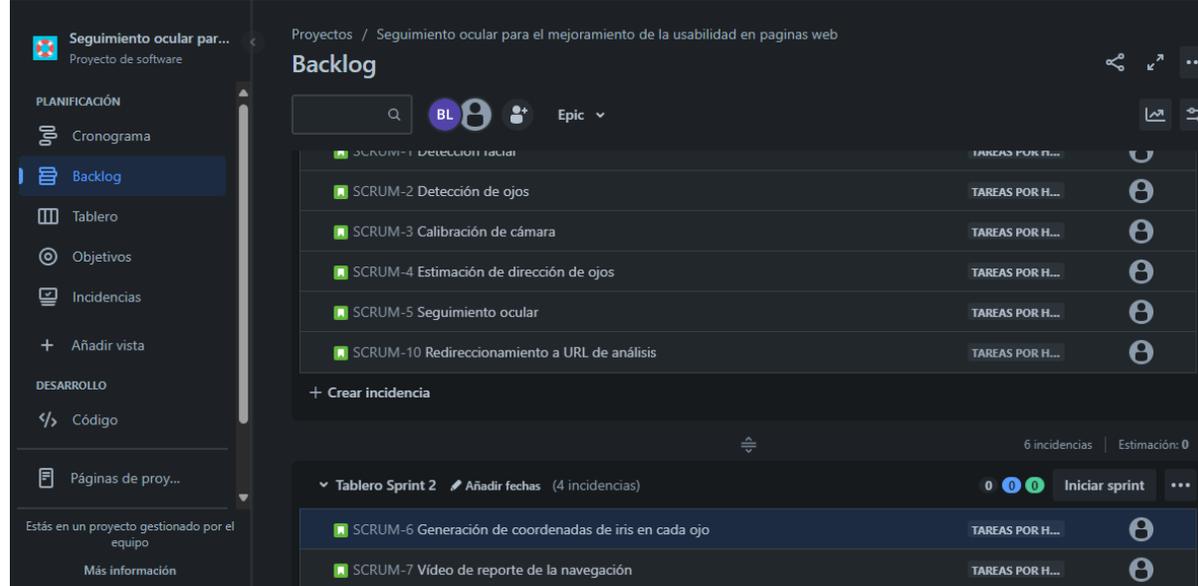


# PLANIFICACIÓN

## Diagrama de Gantt



## Jira



Seguimiento ocular par...  
Proyecto de software

Proyectos / Seguimiento ocular para el mejoramiento de la usabilidad en páginas web

### Backlog

PLANIFICACIÓN

- Cronograma
- Backlog
- Tablero
- Objetivos
- Incidencias
- Añadir vista
- Código
- Páginas de proy...
- Más información

6 incidencias | Estimación: 0

Tablero Sprint 2 / Añadir fechas (4 incidencias) 0 1 0 Iniciar sprint

- SCRUM-1 Detección facial
- SCRUM-2 Detección de ojos
- SCRUM-3 Calibración de cámara
- SCRUM-4 Estimación de dirección de ojos
- SCRUM-5 Seguimiento ocular
- SCRUM-10 Redireccionamiento a URL de análisis
- SCRUM-6 Generación de coordenadas de iris en cada ojo
- SCRUM-7 Vídeo de reporte de la navegación



# GESTIÓN DE REQUISITOS

## Historias de usuario

### HU-006: Mapas de calor de navegación

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| <b>Cómo</b>                    | Analista de datos  |
| <b>Quiero</b>                  | Obtener mapas de calor basados en las coordenadas de vista que más han sido apuntadas.   |
| <b>Para</b>                    | Poder identificar áreas de alta y baja visualización en mis páginas web y mejorar su diseño.   |
| <b>Criterios de Aceptación</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>Creación automática de mapas de calor a partir de los datos de seguimiento ocular.</li><li>Representación visual clara de las áreas con diferentes niveles de visualización (estos niveles son representados con distintos colores que representen el flujo de veces que ha sido visto un sector).</li><li>Posibilidad de exportar el flujo de visualización en formatos como mp4.</li></ul> |

## Priorización de requerimientos - MosCoW



# METODOLOGÍA HÍBRIDA DE DESARROLLO

## METODOLOGÍA SCRUM



## METODOLOGÍA XP



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# FLUJO PRINCIPAL DEL PROYECTO

Navegación en página web



Detección del iris en segundo plano mediante webcam

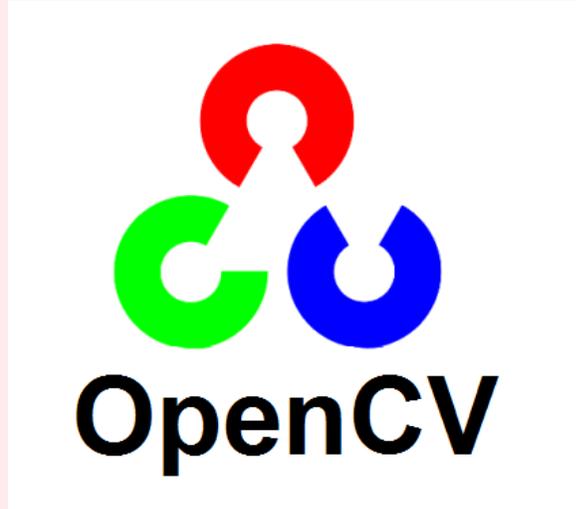


Seguimiento del movimiento del iris en la navegación en páginas web



# TECNOLOGÍAS DE DESARROLLO Y DESPLIEGUE

## Desarrollo



## CI

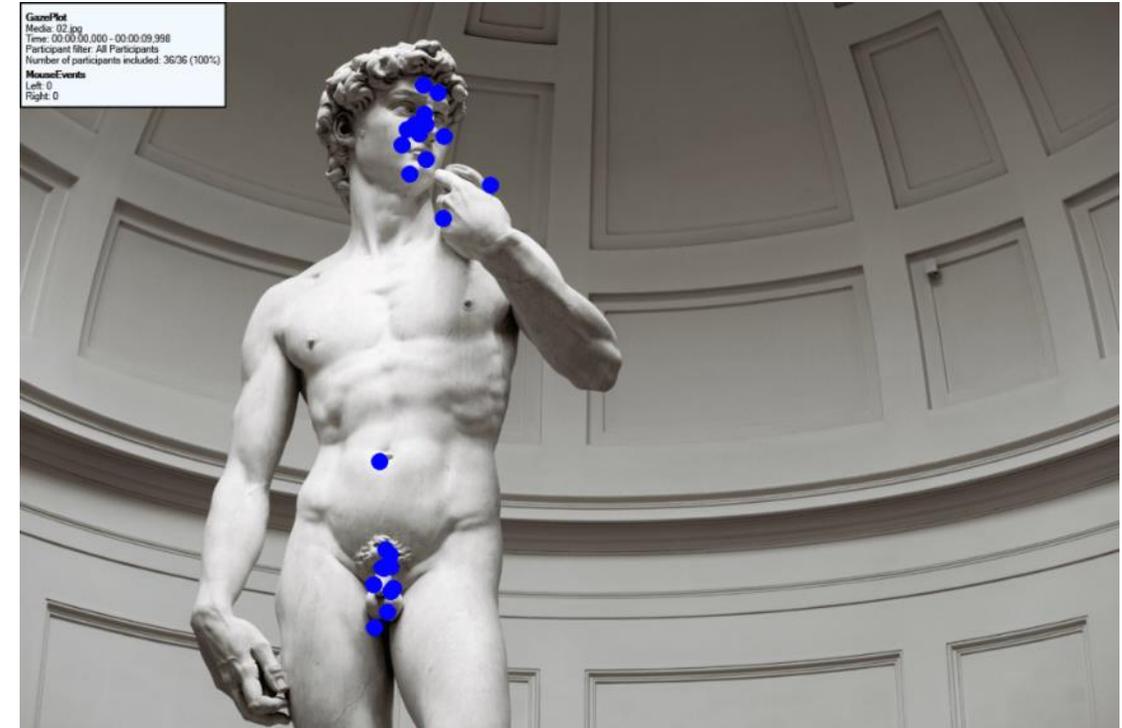


# HERRAMIENTAS PARA MEDIR LOS RESULTADO DEL SEGUIMIENTO

## GazePlot

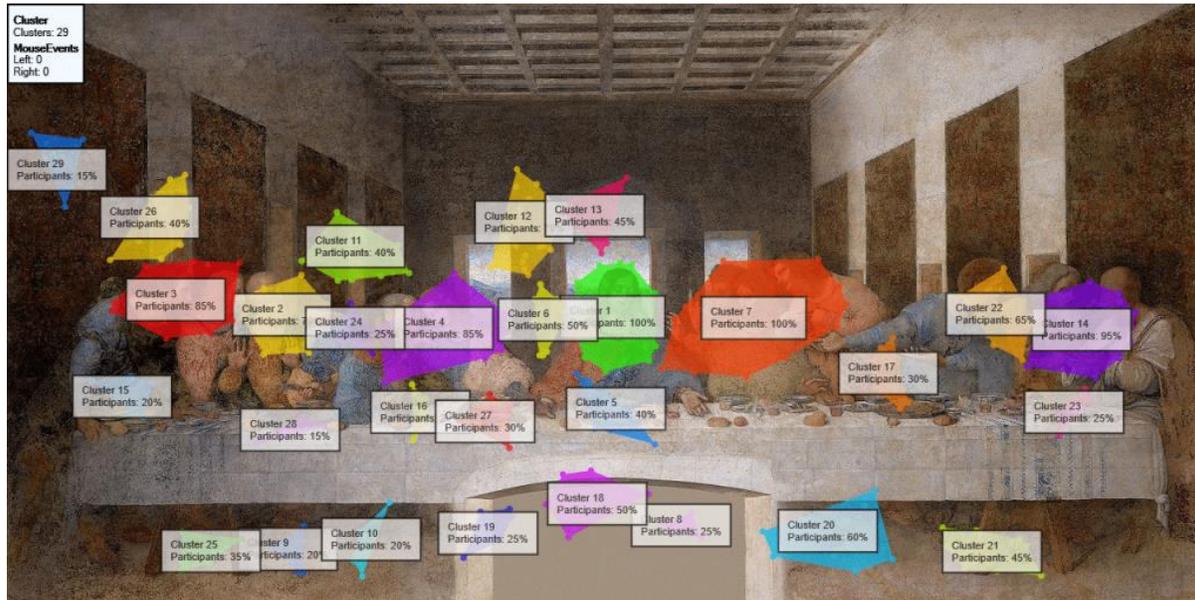


## Bee Swarm



# HERRAMIENTAS PARA MEDIR LOS RESULTADO DEL SEGUIMIENTO OCULAR

Cluster map



Heatmap



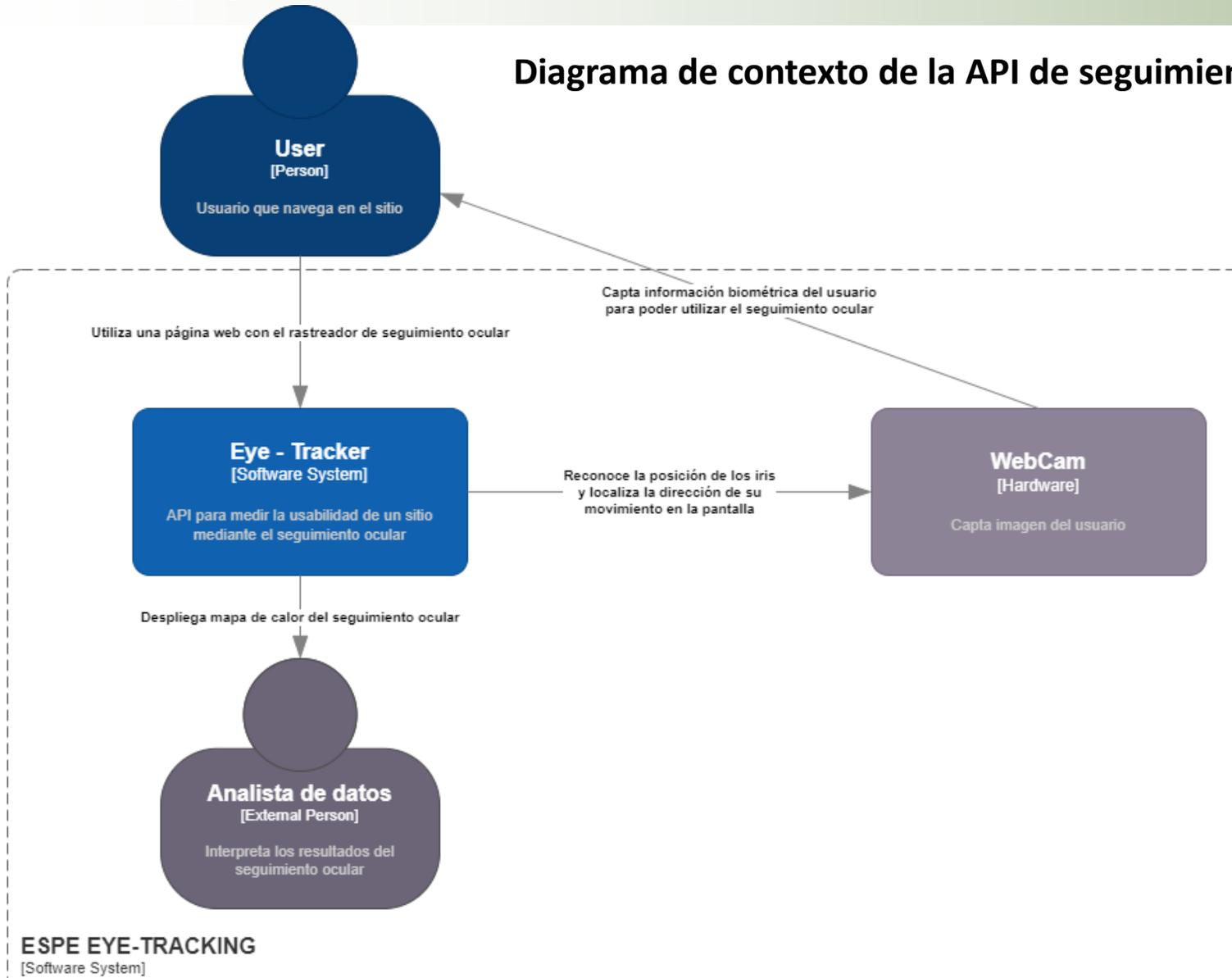
# ARQUITECTURA DEL PROYECTO

| Nivel del modelo C4                              | Descripción del diagrama   |
|--|--|
| <b>Nivel 1: Diagrama de contexto del sistema</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Alcance del sistema</li><li>- Interacciones con usuarios u otros sistemas</li></ul>                          |
| <b>Nivel 2: Diagrama de contenedor</b>           | <ul style="list-style-type: none"><li>- Detalla los componentes centrales del sistema</li><li>- Revela la dinámica entre los contenedores.</li></ul> |
| <b>Nivel 3: Diagrama de componentes</b>          | <ul style="list-style-type: none"><li>- Análisis de los elementos individuales dentro de cada contenedor</li></ul>                                   |
| <b>Nivel 4: Diagrama de código</b>               | <ul style="list-style-type: none"><li>- Vista detallada de las clases e interfaces que integran cada componente.</li></ul>                           |



# MODELO C4

## Diagrama de contexto de la API de seguimiento ocular



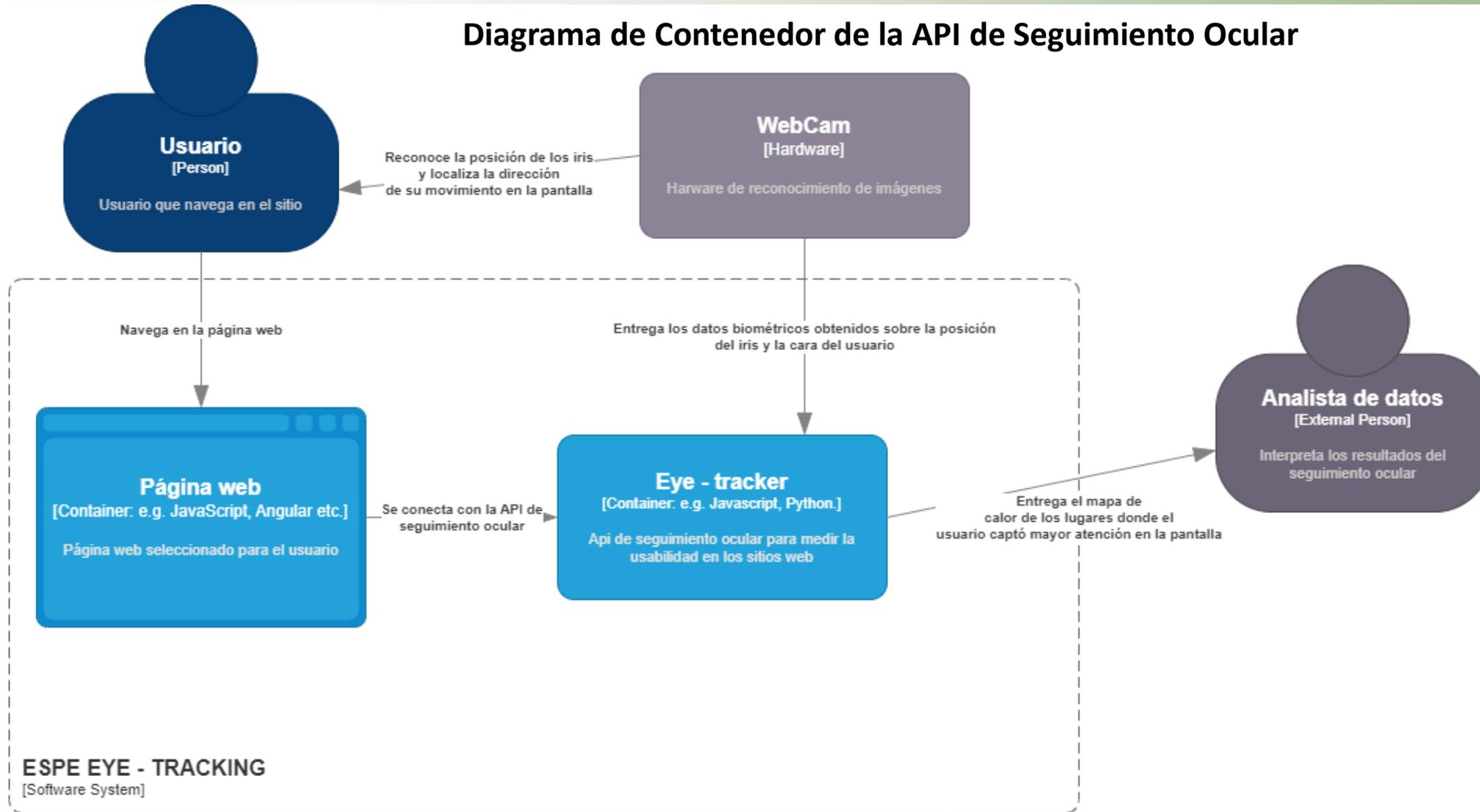
ESPE EYE-TRACKING  
[Software System]



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

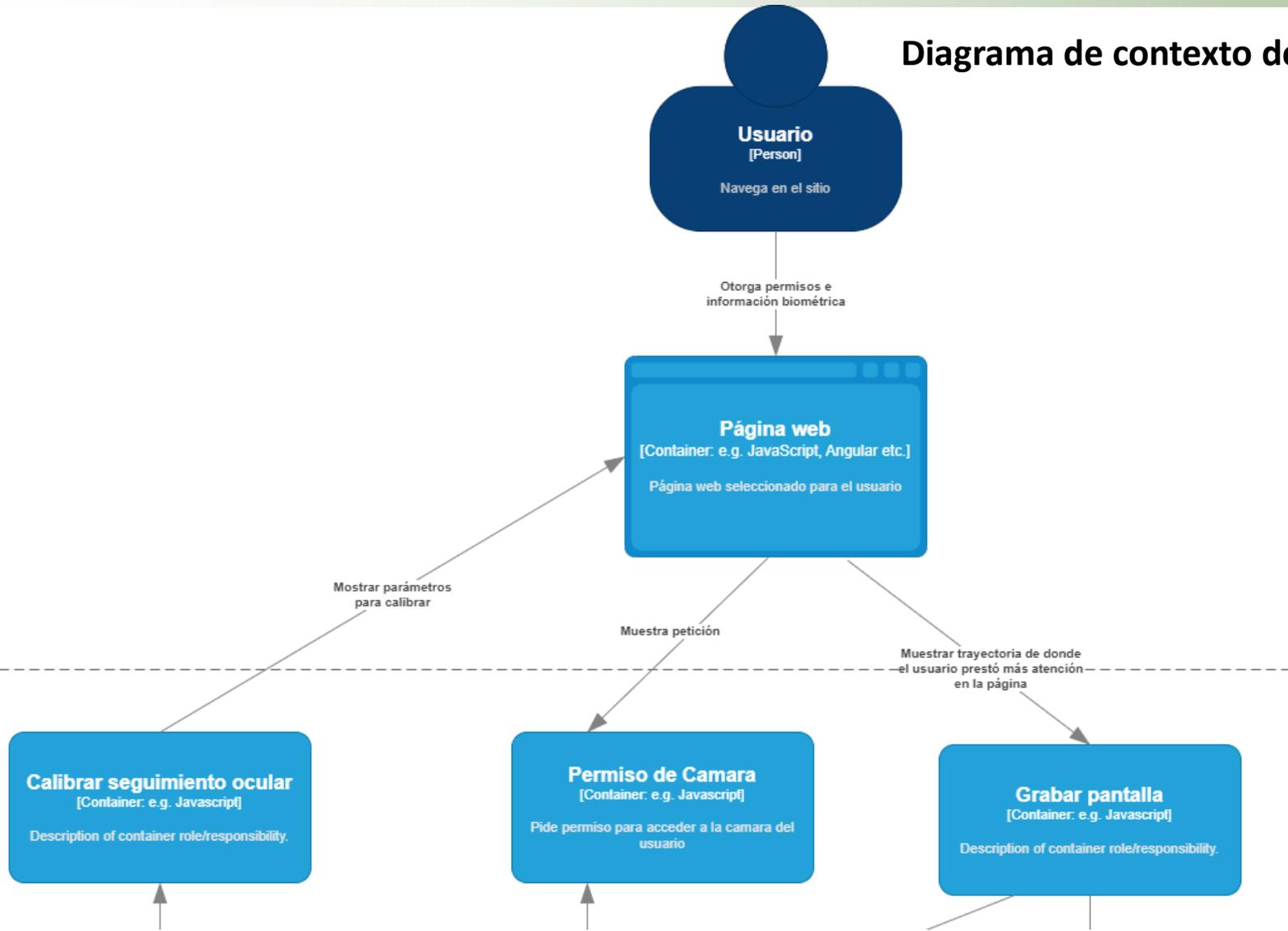
# MODELO C4

## Diagrama de Contenedor de la API de Seguimiento Ocular

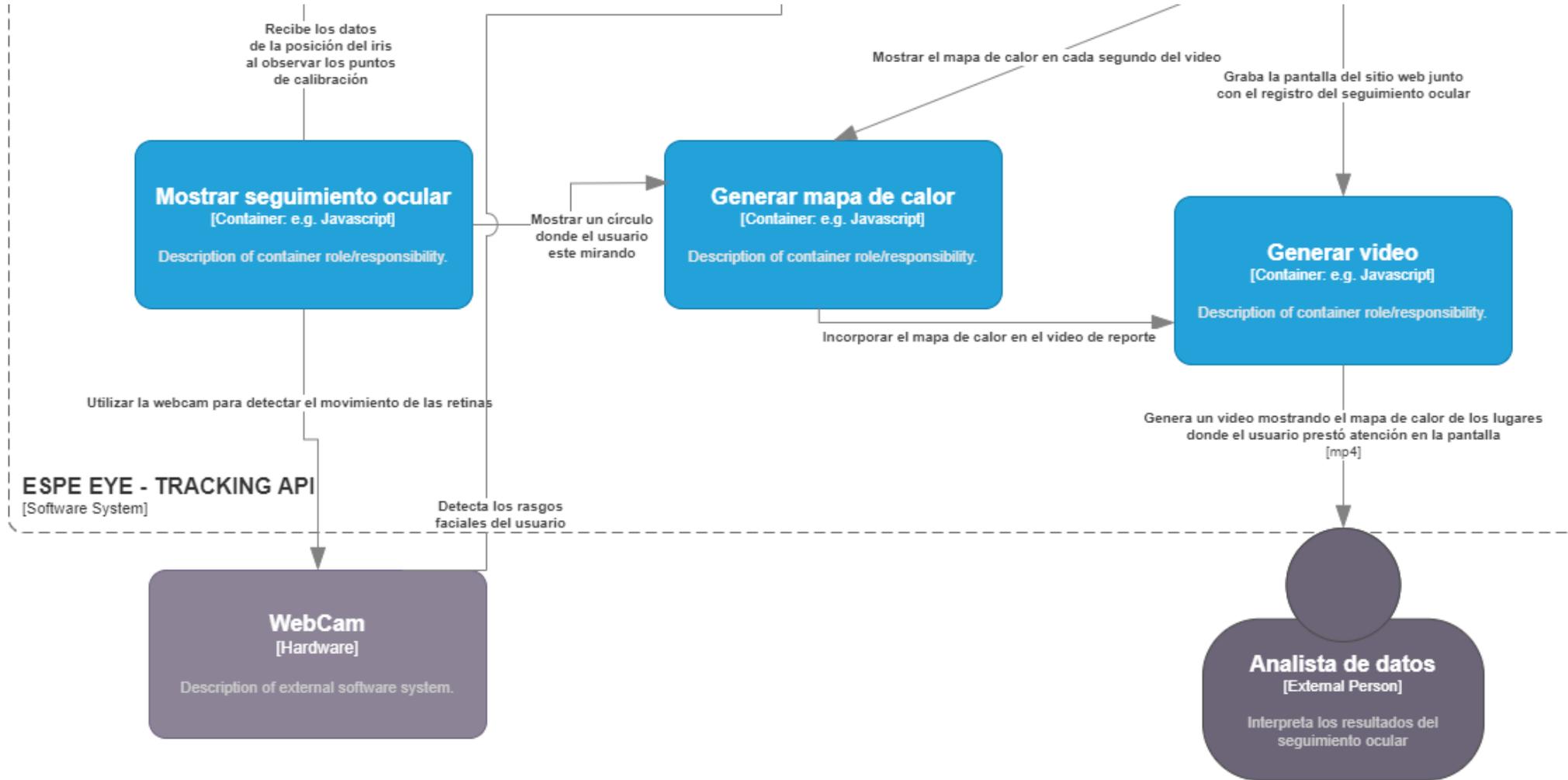


# MODELO C4

## Diagrama de contexto de la API de seguimiento ocular

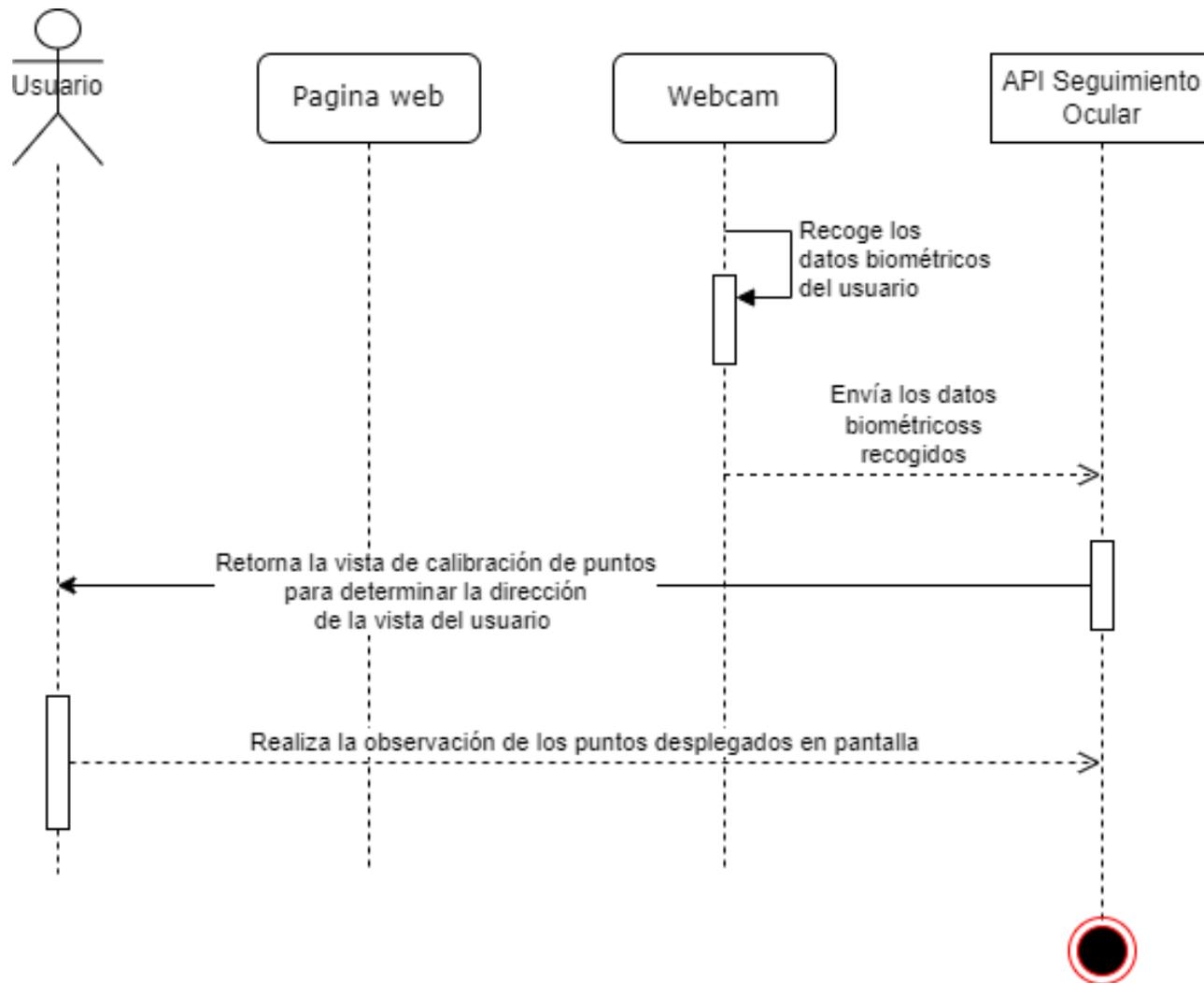


# MODELO C4



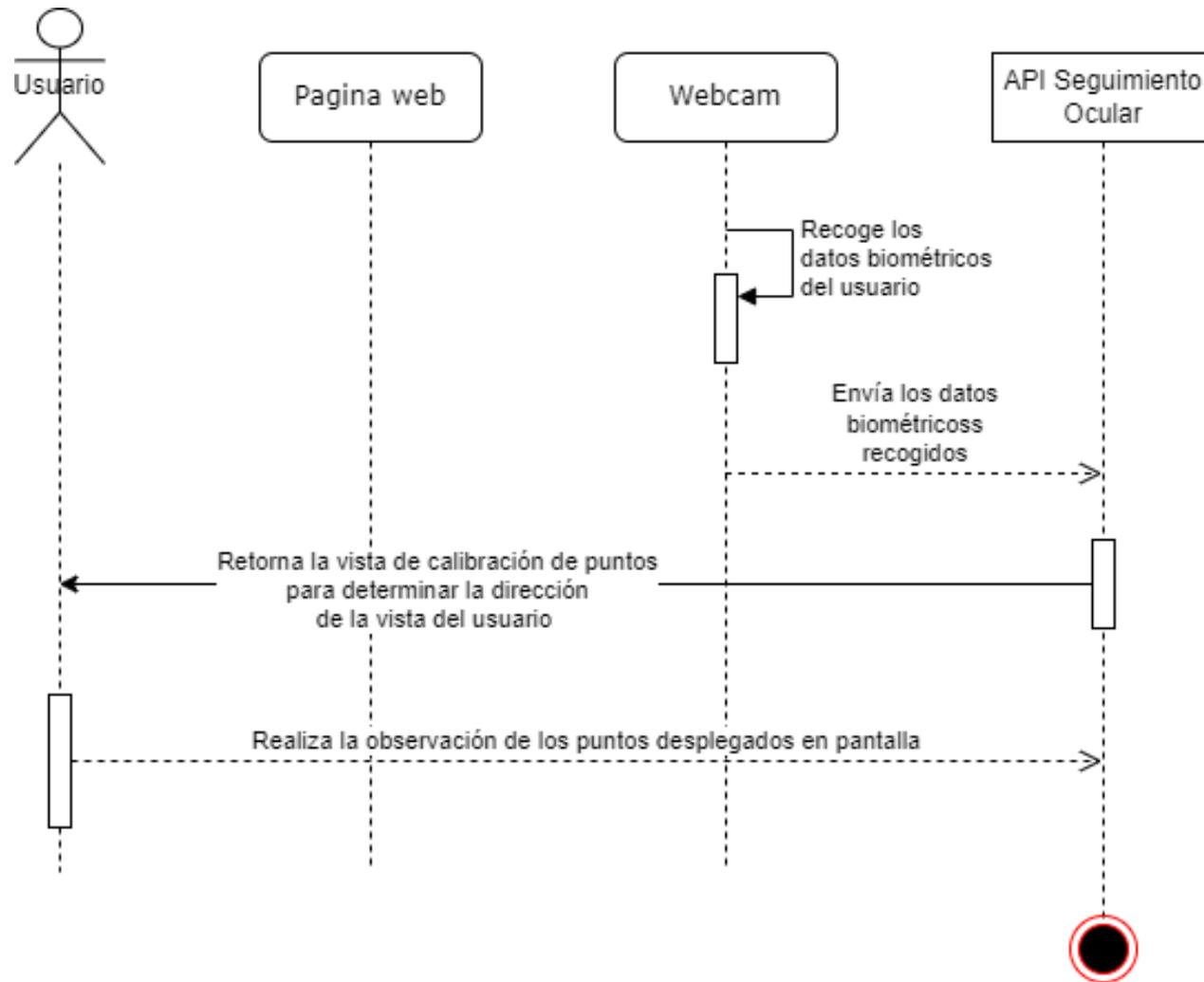
# PROCESOS PRESENTES EN EL PROYECTO

## Proceso de Aceptación de Uso de la Webcam



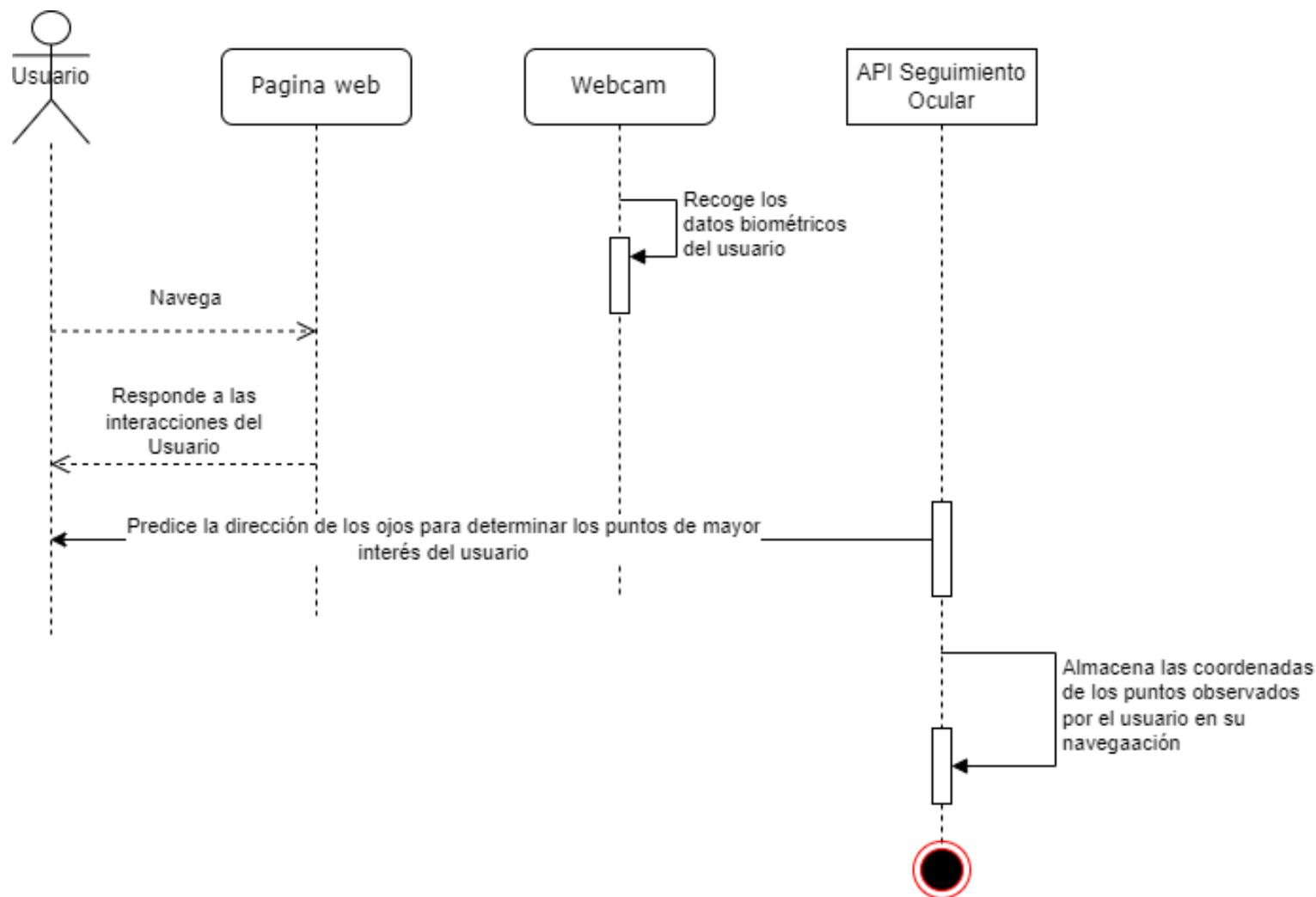
# PROCESOS PRESENTES EN EL PROYECTO

## Proceso de Calibración del seguimiento Ocular

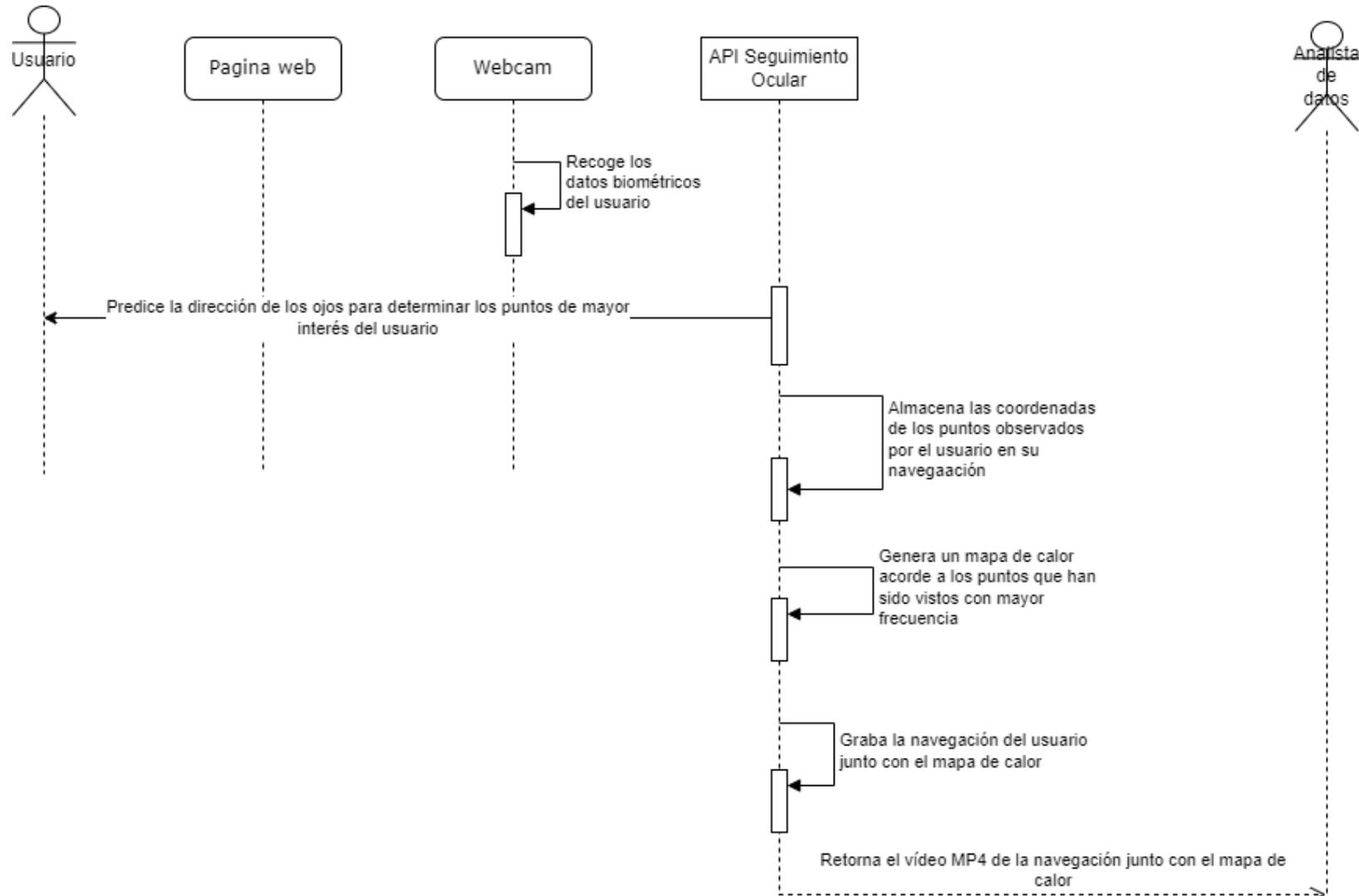


# PROCESOS PRESENTES EN EL PROYECTO

Proceso de Seguimiento Ocular en la Interacción del Usuario con una página web



# PROCESOS PRESENTES EN EL PROYECTO



Proceso de Secuencia del Reporte en Video de la API de Seguimiento Ocular

## Home

✉ khmina@espe.edu.ec | ✉ dvsaa@espe.edu.ec

ESPE-EyeTracker Inicio Contacto



ESPE-EYETRACKER

## Test de usabilidad de páginas web mediante seguimiento ocular

Realizar una prueba

### ¿Qué es el seguimiento Ocular?

El seguimiento ocular es el proceso mediante el cual los ojos siguen y rastrean el movimiento de un objeto en el campo visual. Este fenómeno se realiza a través de los movimientos oculares, que pueden ser voluntarios o



## Página de recomendaciones previo al análisis de seguimiento ocular

✉ khmina@espe.edu.ec | ✉ dvsaa@espe.edu.com

ESPE-EyeTracker

[Inicio](#) [Contacto](#)

### ESPE EYE-TRACKER

Test de usabilidad de páginas web mediante seguimiento ocular

Toma las siguientes recomendaciones:

Tener suficiente luz

La configuración de tu webcam en el navegador

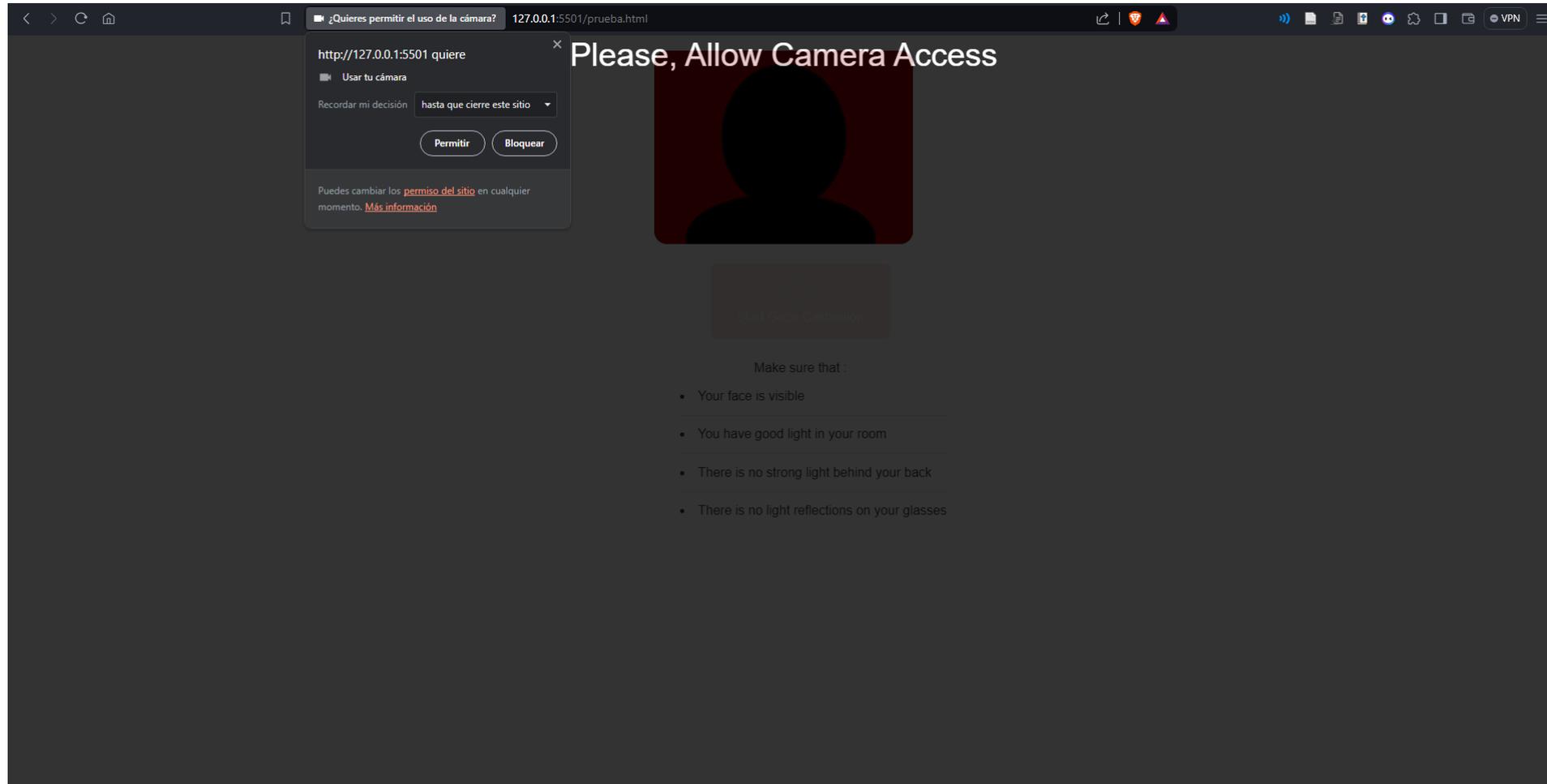
Permitir el acceso a tu webcam al navegador

Testear

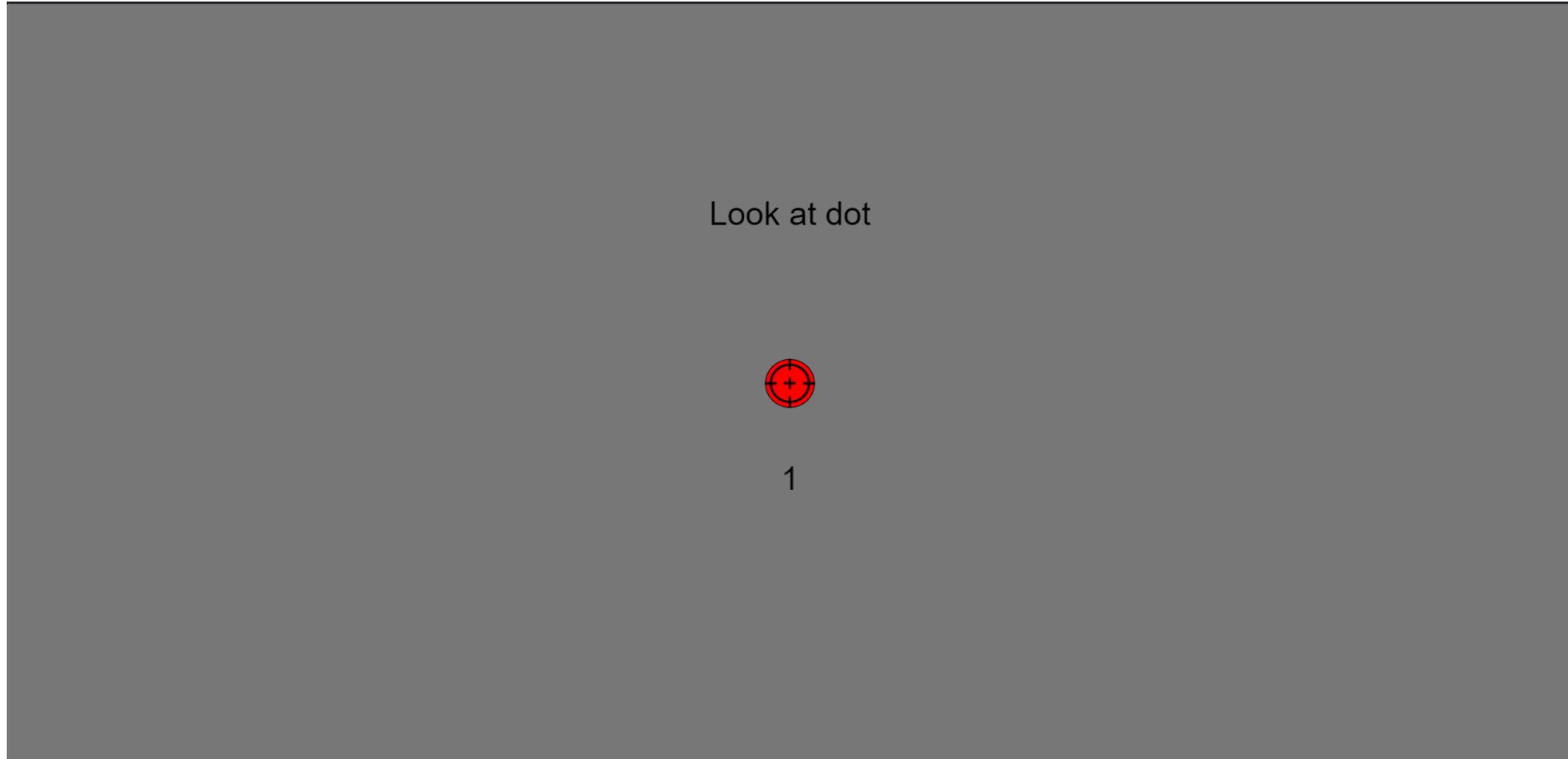


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

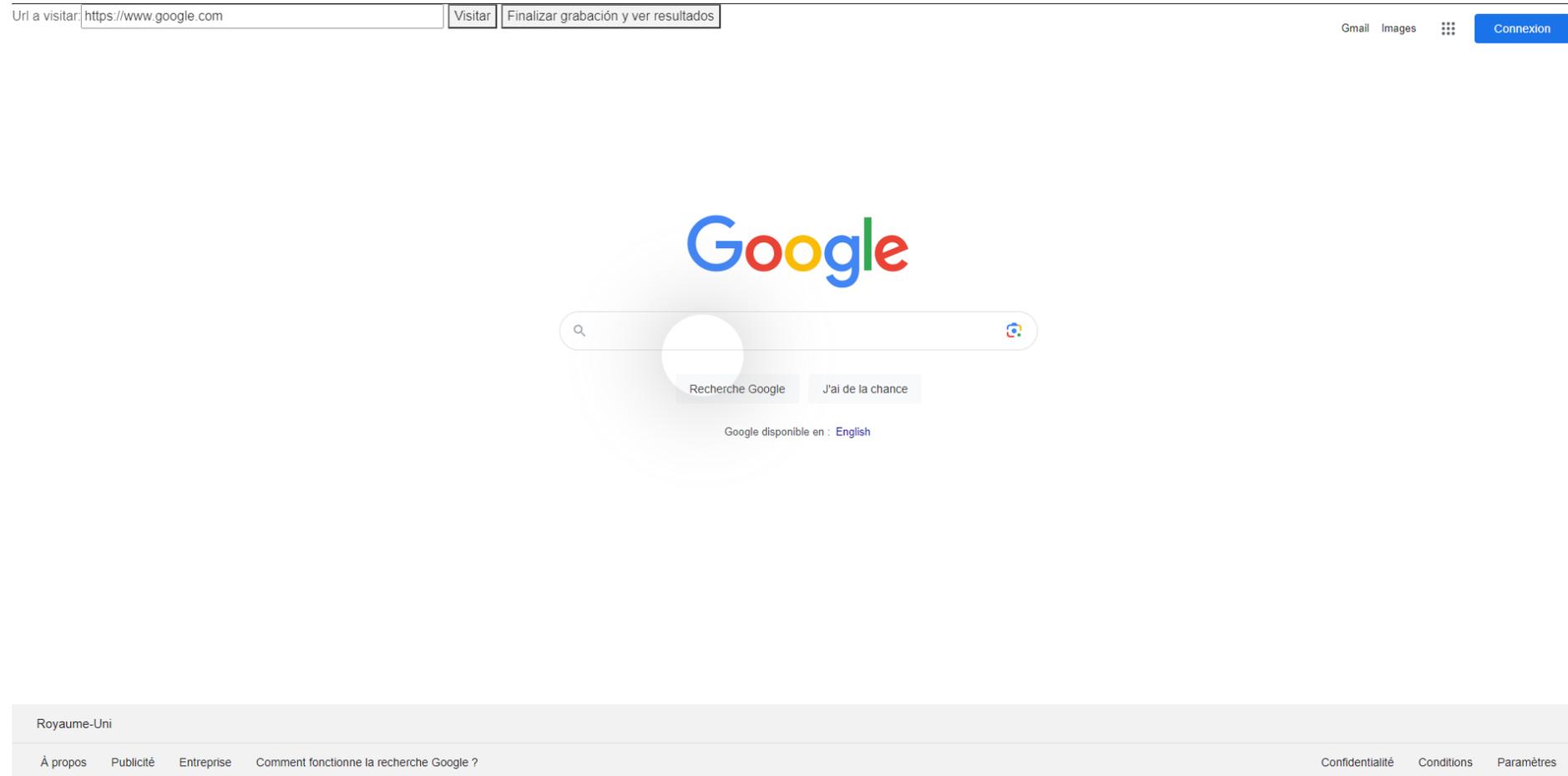
## Acceso a la cámara



## Calibración de la vista para el seguimiento ocular



## Buscador incorporado con seguimiento ocular (Cursor de predicción de vista)



## Presentación del vídeo del resultado del análisis de seguimiento ocular

khmina@espe.edu.ec | dvsaa@espe.edu.com

ESPE-EyeTracker Inicio Contacto

TIEMPO TRANSCURRIDO  
0:0:17

Te  
oc



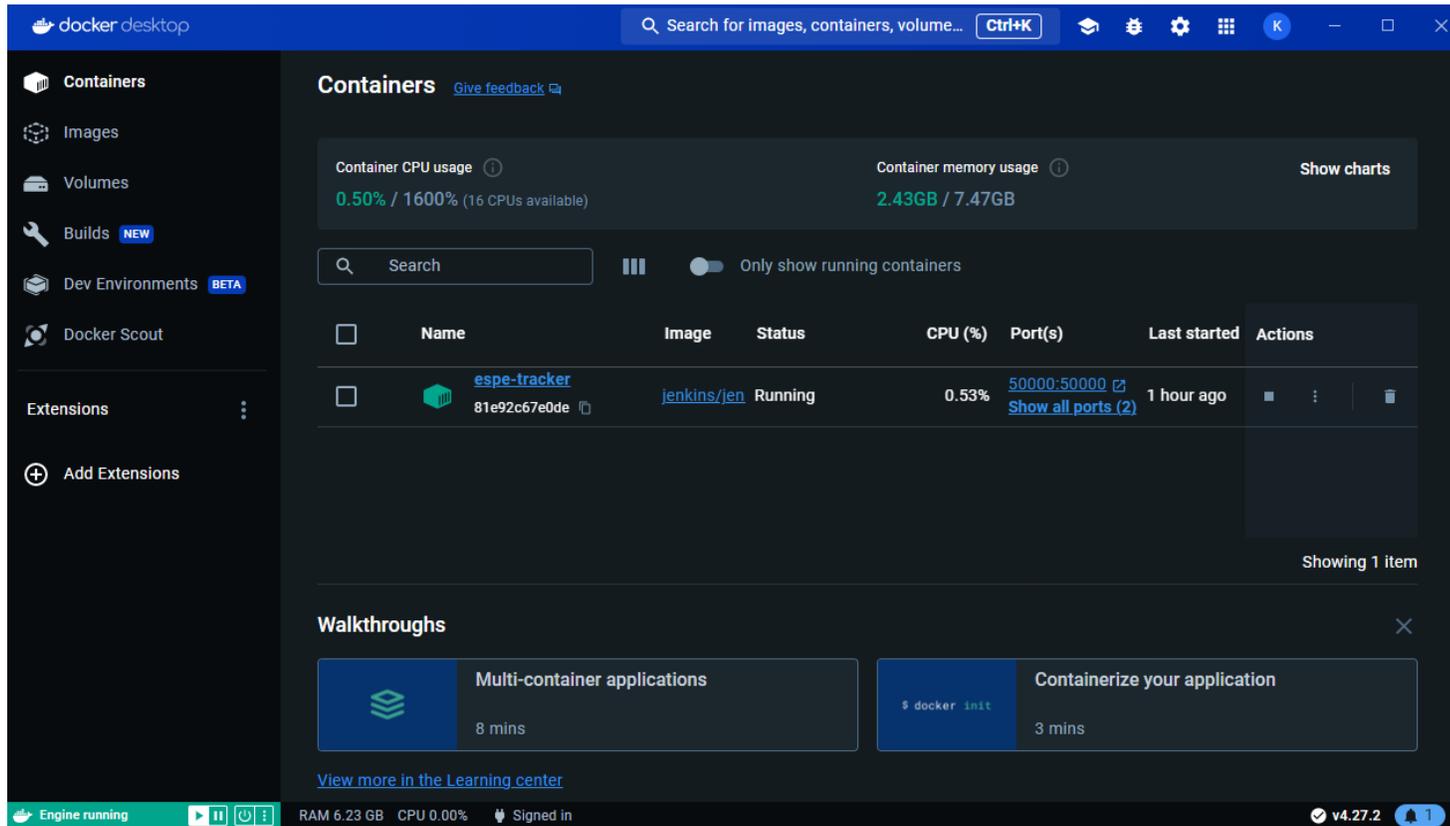
00:13 00:17

1x 2x 4x 8x

Testear



## DESPLIEGUE DEL SISTEMA



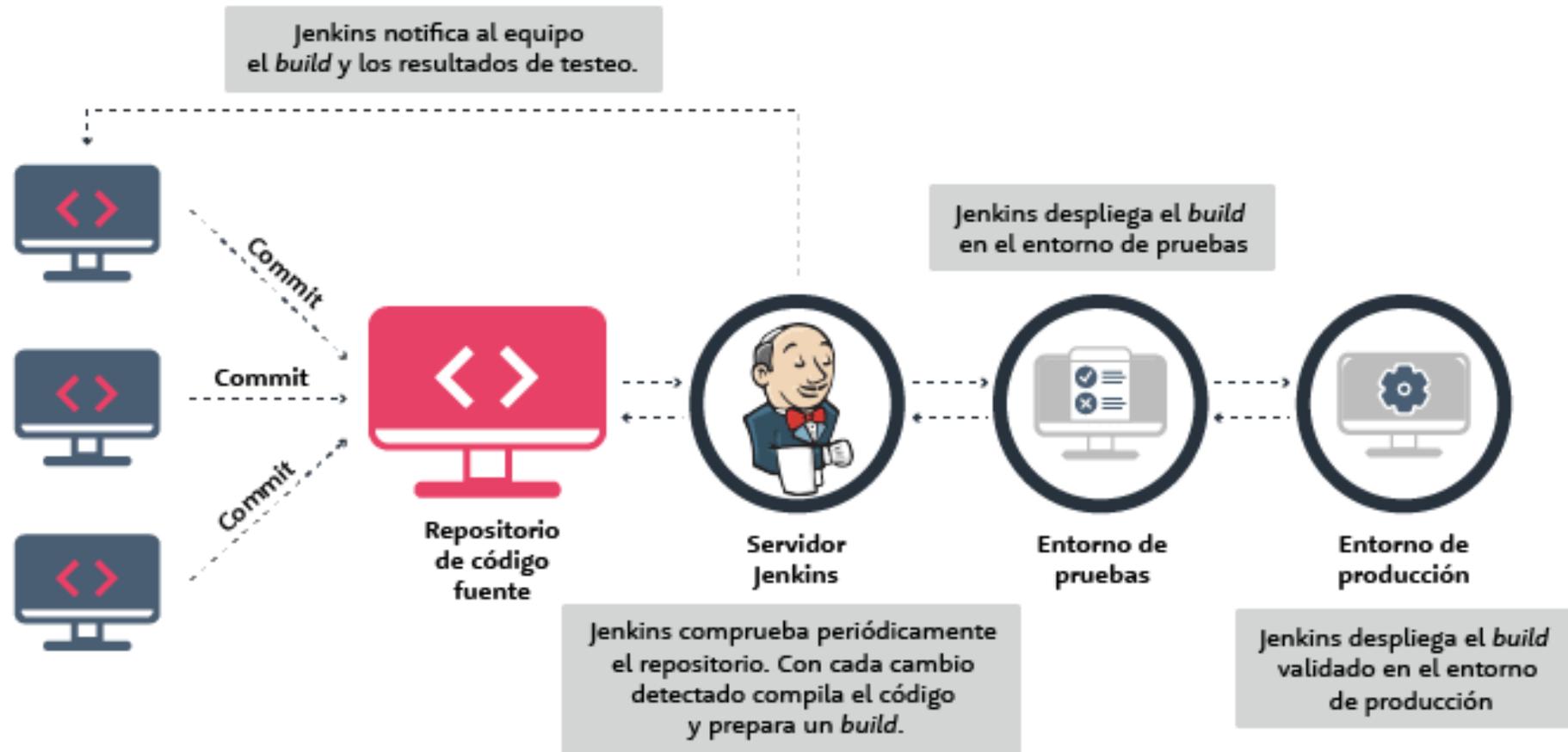
The screenshot displays the Docker Desktop interface. At the top, there's a search bar and navigation icons. The left sidebar contains menu items: Containers, Images, Volumes, Builds (NEW), Dev Environments (BETA), Docker Scout, and Extensions. The main area is titled 'Containers' and shows overall system usage: Container CPU usage at 0.50% / 1600% (16 CPUs available) and Container memory usage at 2.43GB / 7.47GB. A table lists the running containers:

| Name                         | Image       | Status  | CPU (%) | Port(s)                           | Last started | Actions                   |
|------------------------------|-------------|---------|---------|-----------------------------------|--------------|---------------------------|
| espe-tracker<br>81e92c67e0de | jenkins/jen | Running | 0.53%   | 50000:50000<br>Show all ports (2) | 1 hour ago   | [Stop] [Refresh] [Delete] |

Below the table, there are 'Walkthroughs' for 'Multi-container applications' (8 mins) and 'Containerize your application' (3 mins). The bottom status bar shows 'Engine running', RAM 6.23 GB, CPU 0.00%, and version v4.27.2.



## INTEGRACIÓN CONTINUA



## INTEGRACIÓN CONTINUA

jenkins-espetracker-pipeline < 11

Pipeline   Modificación   Pruebas   Artefacto   Desconectar

Rama: — 12s   No hay modificaciones  
Commit: — -   Lanzada por el usuario Kevin Mina

Start   Build   Tests   Production   End

Tests - 10s

- ✓ > Prueba correcta — Print Message <1s
- || > Finished using Test version of the web app? (Click "Proceed" to continue) — Wait for interactive input 10s

Finished using Test version of the web app? (Click "Proceed" to continue)

Proceed   Cancelar

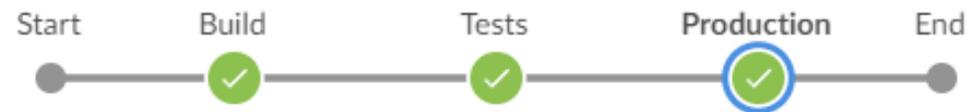


## INTEGRACIÓN CONTINUA

✓ **espetracker-pipeline** Pipeline Modificación Pruebas Artefacto Desconectar

Rama: < 11 — 2m 4s No hay modificaciones

Commit: — a few seconds ago Lanzada por el usuario Kevin Mina



Production - <1s

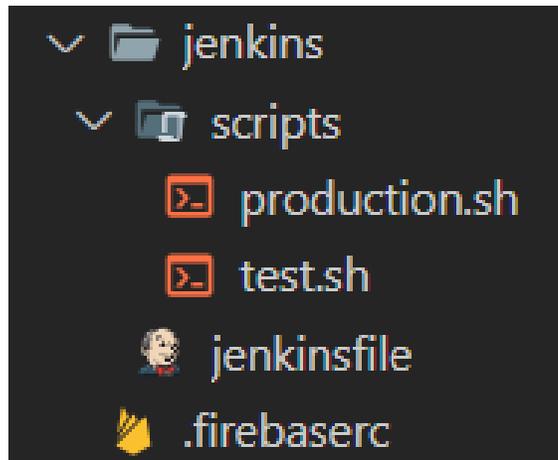
[Restart Production](#)

✓ > Despliegue a producción — Print Message

<1s

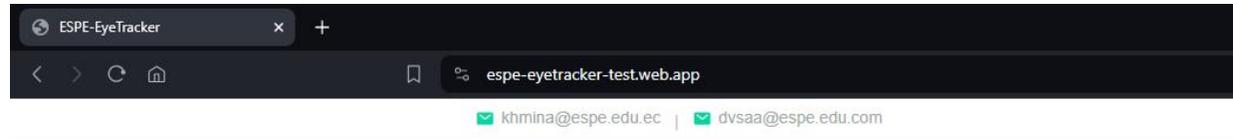


## INTEGRACIÓN CONTINUA

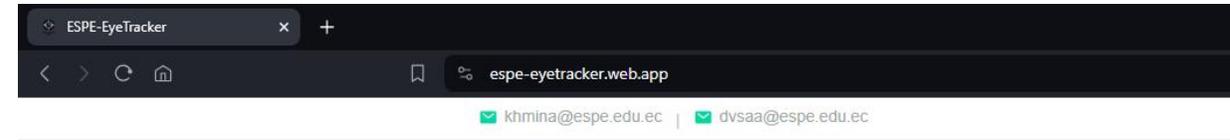


```
jenkins > jenkinsfile
1 pipeline{
2   agent{
3     docker {
4       image 'node:8-alpine'
5       args '-p 3000:3000'
6     }
7   }
8   enviroment{
9     CI = 'true'
10    FIREBASE_DEPLOY_TOKEN = credentials('firebase-deploy-token')
11  }
12  stages{
13    stage ('Build'){
14      step{
15        sh 'npm install -g firebase-tools'
16        sh 'firebase --version'
17        echo "Construcción de la aplicación"
18      }
19    }
20    stage('Tests'){
21      step{
22        sh './jenkins/scripts/test.sh'
23        input message: 'Finished using Test version of the web app? (Click "Proceed" to continue)'
24      }
25    }
26    stage('Production'){
27      step{
28        sh './jenkins/scripts/production.sh'
29        echo "Despliegue a producción"
30      }
31    }
32  }
33 }
34 }
```

## INTEGRACIÓN CONTINUA



ESPE-EyeTracker



ESPE-EyeTracker



---

## Hipótesis

¿Puede el desarrollo de una solución Back-End que utilice el análisis de seguimiento ocular para evaluar la usabilidad en páginas web tener un impacto significativo en la mejora de la navegación y la eficiencia en la experiencia del usuario?

---

---

## Variables

### *Independiente*

- Mejora en la navegación de las páginas web
  - Eficiencia en la experiencia del usuario.
- 

### *Dependiente*

- Solución Back-End
  - Uso del análisis del seguimiento ocular
- 



## VALIDACIÓN POR EL MÉTODO CHI-CUADRADO DE INDEPENDENCIA

¿Puede el desarrollo de una solución Back-End que utilice el análisis de seguimiento ocular para evaluar la usabilidad en páginas web tener un impacto significativo en la mejora de la navegación y la eficiencia en la experiencia del usuario?



## MEJORA EN LA NAVEGACIÓN DE LAS PÁGINAS WEB

¿Cuál es la efectividad de la interacción del usuario con la página web para completar tareas específicas?

¿Cuál es el nivel de satisfacción de los usuarios en su experiencia de uso de la página web?

## EFICIENCIA EN LA EXPERIENCIA DEL USUARIO

¿Qué tan eficiente es la interacción del usuario con la página web en esfuerzo y tiempo?

¿Cuál es el impacto del uso de una API de seguimiento ocular en la navegación de una página web?



## TABLA DE CONTINGENCIA

| Hipótesis                                  | Solución Back End     |                     |
|--|-----------------------|---------------------|
|  | Frecuencia Observada  | Frecuencia Esperada |
| Mejora en la navegación (p1)               | 88%                   | 80%                 |
| Mejora en la navegación (p2)               | 82%                   | 80%                 |
| Eficiencia en Experiencia del usuario (p3) | 58.41 <i>segundos</i> | 60 <i>segundos</i>  |
| Eficiencia en Experiencia del usuario (p4) | 95%                   | 80%                 |

En la tabla de contingencia se utiliza las variables p1: pregunta uno, p2: pregunta dos, p3 pregunta tres, p4 pregunta cuatro



## HIPOTESIS NULA Y ALTERNATIVA

- Hipótesis nula ( $H_0$ ): No hay asociación entre el desarrollo del Back-End y el análisis del seguimiento ocular con la mejora en la navegación de las páginas web y la eficiencia en la experiencia del usuario.
- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Existe una asociación significativa entre el desarrollo del Back-End y el análisis del seguimiento ocular con la mejora en la navegación de las páginas web y la eficiencia en la experiencia del usuario.

Valor de significancia del 5%

Si el valor calculado de Chi-cuadrado es menor que el valor crítico, rechazamos la hipótesis nula y concluiremos que existe una asociación significativa entre las variables categóricas.



Aplicamos la fórmula de Chi-Cuadrado para la prueba de independencia

$$x^2 = \frac{\sum((O_{ij} - E_{ij})^2)}{E_{ij}}$$

Donde:

$i$ : se refiere al índice de la fila

$j$ : se refiere al índice de la columna

$O_{ij}$ : es la frecuencia observada en la celda  $ij$

$E_{ij}$ : es la frecuencia esperada en la celda  $ij$



p1

$$x_{p1}^2 = \frac{(O_{11} - E_{11})^2}{E_{11}}$$

$$x_{p1}^2 = \frac{(0.88 - 0.80)^2}{0.80}$$

$$x_{p1}^2 = 0.01$$

p2

$$x_{p2}^2 = \frac{(O_{12} - E_{12})^2}{E_{12}}$$

$$x_{p2}^2 = \frac{((0.82 - 0.80))^2}{0.80}$$

$$x_{p2}^2 = 0.0005$$

p3

$$x_{p3}^2 = \frac{((O_{13} - E_{13}))^2}{E_{13}}$$

$$x_{p3}^2 = \frac{(58.41 - 60)^2}{60}$$

$$x_{p3}^2 = 0.041$$

p4

$$x_{p4}^2 = \frac{(O_{14} - E_{14})^2}{E_{14}}$$

$$x_{p4}^2 = \frac{(0.95 - 0.80)^2}{0.80}$$

$$x_{p4}^2 = 0.028$$



Resultados obtenidos

| Hipótesis | Significancia | Hipótesis nula | Hipótesis alternativa |
|-----------|---------------|----------------|-----------------------|
| <b>p1</b> | 0.05          | $H_0 > 0.01$   | $H_1 < 0.01$          |
| <b>p2</b> | 0.05          | $H_0 > 0.0005$ | $H_1 < 0.0005$        |
| <b>p3</b> | 0.05          | $H_0 > 0.041$  | $H_1 < 0.041$         |
| <b>p4</b> | 0.05          | $H_0 > 0.028$  | $H_1 < 0.0028$        |



## Interpretación de los resultados

| Hipótesis | Significancia   | Interpretación  |
|-----------|-----------------|---|
| p1        | $0.05 > 0.01$   | Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa |
| p2        | $0.05 > 0.0005$ | Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa |
| p3        | $0.05 > 0.041$  | Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa |
| p4        | $0.05 > 0.028$  | Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa |



## *Interpretación de los resultados*

Los valores de chi-cuadrado calculados se encuentran en la región de rechazo por lo cual se rechaza la hipótesis nula planteada y se acepta la hipótesis alternativa que existe una asociación significativa entre el desarrollo del Back-End y el análisis del seguimiento ocular con la mejora en la navegación de las páginas web y la eficiencia en la experiencia del usuario.



- Se desarrolló una solución Back End que permitió realizar el seguimiento ocular para determinar un análisis cuantitativo de medición de usabilidad a través de mapas de calor y vídeos de reporte aplicados en el paradigma GQM.
- La definición teórica permitió comprender el proceso de detección y estimación del seguimiento ocular, así como también el proceso de despliegue mediante Jenkins del aplicativo web enfocado en el consumo del aplicativo Back End mediante una solución Front End que sirva de mediador en la prueba de usabilidad de las páginas web.
- El desarrollo del sistema se llevó a cabo mediante un marco de trabajo híbrido, basado en dos líneas de trabajo una teórica predefinida por el uso de SCRUM y una de desarrollo software basada en el uso de procesos ágiles a través de XP, para de esta manera cumplir una planificación investigativa y acortar los plazos necesarios para la entrega cumpliendo el ciclo de vida, gestionando efectivamente la documentación de requisitos, la integración y despliegue del sistema solventando las necesidades plasmadas en dichos procesos y a su vez obteniendo un óptimo nivel de funcionalidad, calidad y control de riesgos.



- El modelo C4 de arquitectura conformó un pilar fundamental para modularizar el proceso de desarrollo, de esta manera se pudo dividir en distintas facetas al sistema y entender de mejor manera la distribución de necesidades y cómo solventarlas.
- El uso general de UML permitió definir de mejor manera los procesos incluidos en el desarrollo del aplicativo, de esta manera la gestión y planeación de procesos tanto internos como externos se pueden procesar y definir para cumplir con las necesidades de hardware y software, así como los participantes y su influencia en el flujo de trabajo.
- El uso de un enfoque GQM permitió transformar valores cualitativos que pueden resultar de cierta forma en ambiguos o más difíciles de analizar, en valores cuantitativos que detonan un análisis mejorado, permitiendo completar valores más objetivos y que abarcan un mayor campo de análisis como sectores de error y confusión, distractores o flujos de navegación erráticos.



- Se recomienda que al implementar una metodología ágil se tome en cuenta el tiempo y recursos disponibles para asegurar una implementación eficiente y exitosa. Esto incluye los conocimientos que se tienen sobre las metodologías ágiles, la capacidad de adaptación del equipo de trabajo, y la infraestructura tecnológica existente que pueda respaldar la integración continua y otras prácticas ágiles.
- Se recomienda plantear enfoques de análisis de resultados que se compongan de la transformación del análisis cualitativo a cuantitativo, tal y como expone el enfoque GQM, de esta manera se pueden detectar nuevas características de calificación que un enfoque tradicional de usabilidad no brinda, con el fin de proponer y ampliar los datos y comprender de mejor manera el flujo necesario de navegación para facilitar el uso e interacción del usuario con la página web.



- Se recomienda fomentar un flujo de pasos variado, tratando de adoptar todos los posibles estados que atraviesa el proceso de navegación, para que en el cálculo de métricas la aceptación y cálculo posean una precisión mayor y también un enfoque más robusto y óptimo.
- Se recomienda el uso de sistemas no intrusivos al usuario, de esta manera el flujo de navegación no se ve afectado al cumplir las tareas, así como también implicar la nula necesidad de mostrar datos o cursores de vista como el mapa de calor en las pruebas de usuario, para de esta manera no influir en su manipulación de la página web.



**GRACIAS POR SU ATENCIÓN**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA