



# ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN



# SISTEMA DE SUPERVISIÓN EN LÍNEA

Tesis presentada para obtener el título de Licenciatura en Ingeniería en  
Ciencias de la Computación

Presenta:

**Enrique Yishaq German Totosaus**

Matrícula no. 201406198

Asesor:

Dr. Luis Enrique Colmenares Guillén

14 DE DICIEMBRE DE 2022

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ciencias de la Computación

## Dedicatoria

En memoria de mi madre la Mtra. Flora Isabel Del Carmen Totosaus Escalante (1957-2018), que no descanso hasta haber labrado en nuestros corazones el camino a ella, para que no haya huracán que nos haga perder el rumbo y siempre encontrarla en la playa en donde llegan las olas de su amor.

A mi padre, por su apoyo incondicional. Gracias por guiarme y motivarme a seguir mi propio camino.

A mi novia Brisa, quien sin su ayuda este proyecto no habría culminado. Gracias por hacer de mí el mejor y más feliz hombre.

A mi hermano, por siempre estar ahí. Gracias por ser mi mejor amigo.

## Prólogo

La presente tesis lleva el título de “ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN EN LINEA”. Este trabajo ha sido escrito como parte de los requisitos de graduación para el programa de Licenciatura en Ingeniería en Ciencias de la Computación de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. El periodo de investigación y redacción de este trabajo de fin de grado ha durado desde enero de 2021 hasta octubre de 2022.

El proyecto se llevó a cabo con el propósito de diseñar una alternativa de supervisión en línea de código abierto para Instituciones Públicas de Educación Superior (IPES) en México. del Laboratorio de Análisis Forense Digital para la Detección de Delitos en Internet a cargo del Dr. Colmenares. La tarea principal del trabajo se basó en lo encontrado en el estado del arte. El proceso de investigación y desarrollo ha sido arduo, pero me ha permitido cumplir con dicho propósito. Afortunadamente, el Dr. Luis Enrique Colmenares Guillen, mi asesor, ha estado disponible y dispuesto a ayudarme con todas mis cuestiones.

Me gustaría, por tanto, dar las gracias a mi asesor por su excelente orientación y soporte durante todo el proceso de realización de mi trabajo.

También me ayudó discutir sobre varios asuntos de mi tesis con mi novia, amigos y familia. Si alguna vez perdí el interés, ustedes me ayudaron a permanecer motivado.

Por último, pero no menos importante, quisiera agradecer a la Dra. Hilda Castillo Zacatelco por la libertad de soñar con sus proyectos, a la Dr. Yalu Galicia Hernández por inspirarnos y al Dr. Gerardo Martínez Guzmán por guiarnos a dar lo mejor de nosotros. A todos ellos gracias por inspirarme a ir más allá en mi aprendizaje.

Espero que disfruten la lectura.

*Enrique Yishag German Totosaus*

## Resumen

Ahora que los varios repuntes de la pandemia han pasado y que varias instituciones han estado a la altura del desafío, algunos regresaron completamente a modalidad presencial, otros se mantienen en modalidad digital y también hay quienes llevan modelos híbridos, sin embargo, ahí no termina el reto, puesto que aún necesita reforzarse la estructura ya que el reto de estar preparados para los modelos mixtos o fuera de línea durante para el futuro, ya sea para llegar a más estudiantes u algún otro estado de emergencia continúa vigente, es por ello que se necesita una alternativa de supervisión en línea de código abierto para Instituciones Públicas de Educación Superior (IPES) en México.

El principal objetivo del presente trabajo de tesis es **diseñar** una alternativa de supervisión en línea de código abierto para Instituciones Públicas de Educación Superior (IPES) en México.

Para el desarrollo de esta tesis se usa la metodología ágil, scrum. Esta metodología es iterativa, es decir se lleva a cabo un proceso de refinación. Como metodología para el diseño de la arquitectura se utilizó el “Modelo C4”. El “Modelo C4” se basa en abstracciones. Estas abstracciones reflejan como los arquitectos y desarrolladores, piensan y construyen software, creando un lenguaje común que puede ser usado para describir las estructuras estáticas del software.

Se concluye que todas las iteraciones son de valor dado que a raíz de las pruebas estáticas que se les realizaron para comprobar su cumplimiento de los objetivos específicos cada una de ellas es una solución potencial la iteración uno como solución de propósito general; iteración dos en una institución con más recursos y con un acuerdo de privacidad con sus alumnos; en la iteración tres para instituciones con menor recursos, acuerdo de privacidad con sus alumnos y que busquen el monitoreo del ambiente del alumno; finalmente la iteración cuatro en instituciones con escasos recursos, en donde la población estudiantil principalmente cuente con teléfonos inteligentes y proponiendo tomar un paso atrás, observando el espectro de todas las tecnologías disponibles y no solo los de inteligencia artificial.

## Índice

<b>Dedicatoria .....</b>	<b>2</b>
<b>Prólogo .....</b>	<b>3</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>4</b>
<b>Índice.....</b>	<b>5</b>
<b>Índice de Figuras .....</b>	<b>8</b>
<b>Índice de Tablas.....</b>	<b>10</b>
<b>Índice de abreviaturas .....</b>	<b>11</b>
<b>1 Introducción.....</b>	<b>12</b>
1.1 Estructura del documento.....	17
1.2 Objetivos generales.....	17
1.3 Objetivos específicos.....	17
<b>2 Definición de términos y conceptos fundamentales.....</b>	<b>19</b>
2.1 Acciones ilícitas durante una evaluación .....	19
2.2 Supervisión en línea.....	20
2.3 Arquitectura de software .....	23
2.4 Operación de modelos de aprendizaje automático .....	26
2.5 Otros conceptos .....	29
<b>3 Estado del arte.....</b>	<b>35</b>
<b>3.1 Investigaciones.....</b>	<b>35</b>
<b>3.2 Servicios .....</b>	<b>36</b>
3.2.1 ProctorU .....	36
3.2.2 SMOWL.....	36
3.3.3 Proctorio .....	37
<b>3.3 Complejidad de implementación .....</b>	<b>38</b>
3.3.1 Privacidad.....	38
3.3.2 Costos .....	38

3.3.3 Ancho de banda necesario .....	39
3.3.4 Disponibilidad de Dispositivos Electrónicos.....	39
3.3.5 Recepción estudiantil .....	41
<b>3.4 Recapitulación .....</b>	<b>41</b>
<b>4 Metodología.....</b>	<b>43</b>
<b>4.1 Software.....</b>	<b>43</b>
<b>4.2 Hardware.....</b>	<b>43</b>
<b>4.3 Flujo de trabajo .....</b>	<b>43</b>
4.3.1 Planificación .....	44
4.3.2 Desarrollo .....	44
4.3.3 Pruebas .....	44
4.3.4 Implementación.....	44
4.3.5 Revisión.....	44
<b>4.4 Estilo arquitectónico .....</b>	<b>44</b>
<b>4.5 Metodología de diseño.....</b>	<b>45</b>
4.5.1 Abstracciones.....	46
4.5.2 Diagramas .....	46
4.5.3 Notación .....	51
<b>5 Resultados .....</b>	<b>54</b>
<b>5.1 Iteración 1 .....</b>	<b>54</b>
5.1.1 Planificación .....	54
5.1.2 Desarrollo .....	54
5.1.3 Pruebas .....	57
5.1.4 Revisión.....	58
<b>5.2. Iteración 2.....</b>	<b>58</b>
5.2.1 Planificación .....	58
5.2.2 Desarrollo .....	59
5.2.3 Pruebas .....	62
5.2.4 Revisión.....	63
<b>5.3 Iteración 3 .....</b>	<b>63</b>
5.3.1 Planificación .....	63
5.3.2 Desarrollo .....	63

5.3.4 Pruebas .....	66
5.3.5 Revisión.....	68
<b>5.4 Iteración 4 .....</b>	<b>68</b>
5.4.1 Planificación .....	68
5.4.2 Desarrollo .....	68
5.4.3 Pruebas .....	71
5.4.4 Revisión.....	73
<b>6 Conclusiones y Trabajo a futuro .....</b>	<b>74</b>
6.1 Conclusiones .....	74
6.2 Trabajo a futuro.....	75
<b>7 Referencias .....</b>	<b>77</b>

## Índice de Figuras

Figura 1 - Pizarras a través de los tiempos .....	12
Figura 2 - Distribución porcentual de la población de 3 a 29 años inscrita en el ciclo escolar 2019–2020 y que No concluyó el año escolar, por motivo de No conclusión y la razón principal cuando fue relacionado a la pandemia por COVID-19 .....	13
Figura 3 - Distribución porcentual de la población de 3 a 29 años que no se inscribió en el ciclo escolar 2020–2021 a causa de COVID-19, por motivo principal .....	13
Figura 4 - Porcentaje de viviendas con teléfono y población de 3 a 29 años, en donde realizaron gasto adicional para atender las clases a distancia debido a la COVID-19, por tipo de gasto .....	14
Figura 5 - Porcentaje de la población de 3 a 29 años inscritos en el ciclo escolar 2019–2020, según principales aparatos o dispositivos electrónicos usados para sus actividades escolares o clases a distancia [4] .....	14
Figura 6 - Porcentaje de la población de 3 a 29 años inscritos en el ciclo escolar 2019–2020, según aparatos o dispositivos electrónicos usado principalmente para sus actividades escolares o clases a distancia, por nivel de escolaridad [4].....	15
Figura 7 - Flujo de trabajo "Forecast" de aprendizaje automático.....	26
Figura 8 - Flujo de trabajo "Web Service" de aprendizaje automático .....	27
Figura 9 - Flujo ejecución "Web Service" de aprendizaje automático .....	27
Figura 10 - Flujo de trabajo "Online Learning" de aprendizaje automático .....	28
Figura 11 - Flujo de ejecución "Online Learning" de aprendizaje automático.....	28
Figura 12 - Usuarios de celular inteligente según tipo de conexión a internet, 2016-2020 (Sala de prensa, s/f) .....	39
Figura 13 - Porcentaje de la población de 3 a 29 años inscritos en el ciclo escolar 2019–2020, según principales aparatos o dispositivos electrónicos usados para sus actividades escolares o clases a distancia .....	40
Figura 14 - Porcentaje de la población de 3 a 29 años inscritos en el ciclo escolar 2019–2020, según aparatos o dispositivos electrónicos usado principalmente para sus actividades escolares o clases a distancia, por nivel de escolaridad.....	40

Figura 15 - Distribución porcentual de la población informante de 18 años y más en viviendas con teléfono y con población de 3 a 29 años, según opinión sobre las ventajas y desventajas de las clases a distancia o virtuales .....	41
Figura 16 - Metodología Ágil .....	43
Figura 17 - Topología de microservicios [41] .....	45
Figura 18 - Niveles de diagramas modelo C4 [41] Traducción propia .....	47
Figura 19 - Ejemplo diagrama de contexto [41] Traducción propia .....	48
Figura 20 - Ejemplo diagrama de contenedores [41] Traducción propia .....	49
Figura 21 - Ejemplo diagrama de componentes [41] Traducción propia.....	50
Figura 22 - Ejemplo diagrama de código [41].....	51
Figura 23 - Estructura de un bloque de los diagramas del modelo C4 .....	52
Figura 24 - Código de colores por tipo de diagrama notación modelo C4 .....	52
Figura 25 - Ejemplo de flecha de interacción dentro de los diagramas del modelo C4.	53
Figura 26 - Diagrama Contexto Iteración 1 .....	55
Figura 27 - Diagrama Contenedores Iteración 1 .....	56
Figura 28 - Diagrama Contexto Iteración 2 .....	59
Figura 29 - Diagrama Contenedores Iteración 2 .....	61
Figura 30 - Diagrama Contexto Iteración 3 .....	64
Figura 31 - Diagrama Contenedores Iteración 3.....	65
Figura 32 - Diagrama Contexto Iteración 4 .....	69
Figura 33 - Diagrama Contenedores Iteración 4.....	70

## Índice de Tablas

Tabla 1 - Servicios ProctorU .....	36
Tabla 2 - Servicios SMOWL.....	37
Tabla 3 - Servicios Proctorium.....	37
Tabla 4 - Requerimientos para los estudiantes Iteración 1.....	57
Tabla 5 – Lista de comprobación Iteración 1.....	58
Tabla 6 - Requerimientos para los estudiantes Iteración 2.....	61
Tabla 7 - Lista de comprobación Iteración 2 .....	62
Tabla 8 - Requerimientos para los estudiantes Iteración 3.....	66
Tabla 9 - Lista de comprobación Iteración 3 .....	67
Tabla 10 - Requerimientos para los estudiantes Iteración 4.....	70
Tabla 11 – Lista de comprobación Iteración 4 .....	72
Tabla 12 - Consideraciones para la institución .....	75

## Índice de abreviaturas

Abreviatura	Significado
AA	Aprendizaje Automática
AP	Aprendizaje Profundo
CNN	Red Neuronal Convolutacional por la traducción del inglés de Convolutional Neural Network
IPES	Instituciones Públicas de Educación Superior
LMS	Sistema para el Manejo del Aprendizaje por la traducción del inglés de Learning Management System
SaS	Software como Servicio por la traducción al inglés de Software as a Service

## 1 Introducción

La educación en el siglo XXI ha venido evolucionando como se puede ver en la Figura 1, la transición del pizarrón verde y el gis al pizarrón blanco con plumones, y el uso paralelo de proyecciones o pizarrones inteligentes.

*Figura 1 - Pizarras a través de los tiempos*



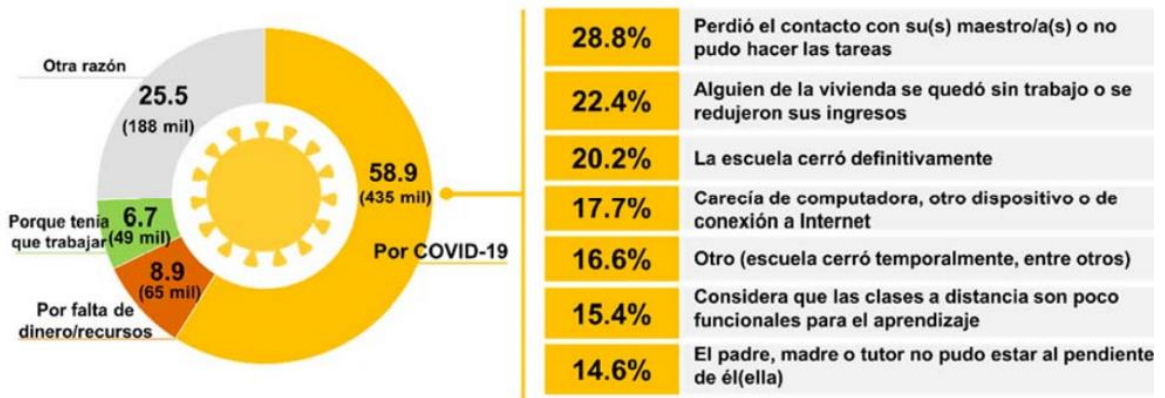
Sin embargo, el más grande reto ha sido la pandemia COVID -19, pues los recursos tecnológicos pasaron de ser un apoyo extra a una necesidad, no solo para la educación, ya que se implementó la tecnología en los ámbitos culturales, socioeconómico, religioso, y político.

A continuación, se definen tres factores para medir el impacto de la pandemia en la educación superior de acuerdo con [13]:

1. La disminución de actividad productiva y comercial (desempleo o pérdidas de fuentes de ingreso). En México, según estadísticas del INEGI, como se muestra en la Figura 2 **Error! Reference source not found.**, la pérdida de empleos o reducción de ingresos es la segunda causa de la deserción en el ciclo escolar 2019-2020 y esta misma causa se encuentra en el mismo lugar en las causas por

las que los alumnos no se inscribieron en el ciclo 2020-2021 como se observa en la Figura 3.

Figura 2 - Distribución porcentual de la población de 3 a 29 años inscrita en el ciclo escolar 2019–2020 y que No concluyó el año escolar, por motivo de No conclusión y la razón principal cuando fue relacionado a la pandemia por COVID-19



Nota: la suma de motivos es mayor al 100% dado que se podía mencionar más de un motivo.  
Fuente: INEGI. Encuesta para la Medición del Impacto COVID-19 en la Educación.

Figura 3 - Distribución porcentual de la población de 3 a 29 años que no se inscribió en el ciclo escolar 2020–2021 a causa de COVID-19, por motivo principal



La brecha digital va de la mano con la desigualdad socioeconómica, pues el acceso a dispositivos electrónicos fue fundamental durante el pico de la pandemia para poder tener acceso a la educación, en la Figura 4 se puede observar la diversidad de gastos

que se generaron a raíz de las clases remotas, destacando en primer lugar la adquisición de un teléfono inteligente y en segundo la contratación de servicio de internet fijo, en la Figura 5 se **observa** que el teléfono es por mucho el principal dispositivo por el que la población de 3 a 29 años inscritos en el ciclo escolar 2019–2020 ha usado para sus actividades escolares, mientras que en la Figura 6 **se observa** que está en segundo lugar para la población inscrita en educación superior. Por lo anterior queda claro que los teléfonos inteligentes son el principal medio de acceso a la educación a distancia de la población estudiantil mexicana y el segundo en el sector superior.

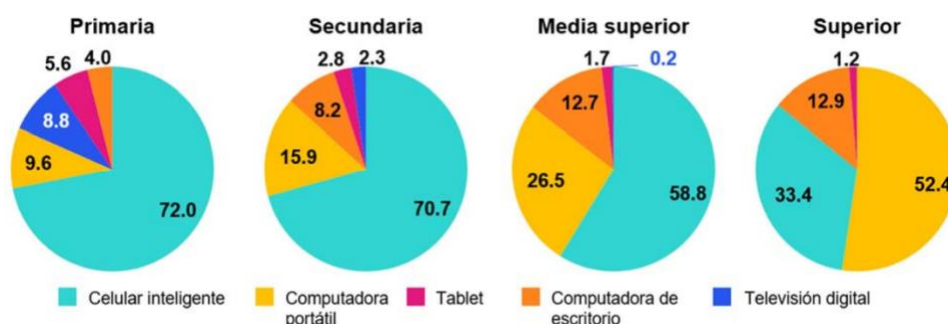
Figura 4 - Porcentaje de viviendas con teléfono y población de 3 a 29 años, en donde realizaron gasto adicional para atender las clases a distancia debido a la COVID-19, por tipo de gasto



Figura 5 - Porcentaje de la población de 3 a 29 años inscritos en el ciclo escolar 2019–2020, según principales aparatos o dispositivos electrónicos usados para sus actividades escolares o clases a distancia [4]



Figura 6 - Porcentaje de la población de 3 a 29 años inscritos en el ciclo escolar 2019–2020, según aparatos o dispositivos electrónicos usado principalmente para sus actividades escolares o clases a distancia, por nivel de escolaridad [4]



- El reto de índole pedagógico que se les presenta a las IES para enfrentar la crisis educativa derivada de la pandemia, ya que muchas instituciones no tenían planes para ofrecer sus servicios en modalidad digital, lo que resultó en el paro completo de las actividades por periodos indefinidos en su momento. Por otro lado, las instituciones que si tenían planes de digitalización tuvieron que acelerarlos, lo que implicó un alza en su costo de operación. En un estudio de investigación realizado por la [15], se resalta que los docentes tuvieron que modificar sus programas pedagógicos y adaptar sus planes de clases para seguir enseñando a partir de soluciones de alta tecnología, baja tecnología o sin ninguna tecnología, para no dejar en pausa la formación de los estudiantes. Algunas instituciones plantearon una serie de capacitaciones sobre la enseñanza a distancia, tecnologías, páginas web, plataformas flexibles que permiten el desarrollo pleno de las clases virtuales, lo que refleja una necesidad de una formación continua en materia de enseñanza a distancia, tecnologías disponibles y otras pedagogías flexibles que permitan un aprendizaje en línea, mixto o fuera de línea durante los futuros cierres de escuelas, ampliación de planes de educación a distancia o modalidades híbridas.[15][16]

A su vez, [13] concluye que los tres factores anteriormente mencionados se conjugan para propiciar tres graves impactos inmediatos y mediatos sobre la educación superior en nuestro país:

- 1) El primer factor es la **ampliación de la brecha en el acceso a la educación superior**, dado que ahora es necesario contar acceso a internet y un dispositivo electrónico (teléfono inteligente o computadora).
- 2) El segundo impacto se refiere a la pérdida de estudiantes en este nivel educativo debido al abandono escolar como consecuencia de los tres factores señalados anteriormente: el económico, el tecnológico y el pedagógico. La pérdida de estudiantes estimada por la Secretaría de Educación Pública como consecuencia de la pandemia es de 8%, lo que significa 320,000 estudiantes, sin embargo, las estimaciones del PNUD duplican esta cantidad, ubicándola en cerca de 630,000 [13].
- 3) El tercer impacto es sobre la calidad de la educación superior, la situación en general plantea condiciones de aprendizaje que no son favorables. Muchos estudiantes no cuentan con el espacio adecuado para recibir las clases a distancia porque comparten el hogar con otros miembros, algunos de los cuales también deben conectarse para estudiar o trabajar. En algunos hogares hay enfermos de COVID, y los estudiantes pueden haber experimentado decesos de personas cercanas.
- 4) Impacto psicológico en los estudiantes debido al confinamiento, dado que no pueden vivir su vida completa, que extrañan a sus compañeros y la incertidumbre, pues no pueden prever lo que ocurrirá con su educación y mucho menos con su potencial trabajo o fuente de ingresos [26]. Esta última condición, aunada a las anteriores, generan una situación altamente estresante que en ocasiones desencadena eventos depresivos y que deteriora las condiciones para aprender.

Ahora que los varios repuntes de la pandemia han pasado y que varias instituciones han estado a la altura del desafío, algunos regresaron completamente a modalidad presencial, otros se mantienen en modalidad digital y también hay quienes llevan modelos híbridos, sin embargo, ahí no termina el reto, puesto que aún necesita reforzarse la estructura ya que el reto de estar preparados para los modelos mixtos o fuera de línea durante para el futuro, ya sea para llegar a más estudiantes u algún otro estado de emergencia continúa vigente, es por ello que se necesita una alternativa de

supervisión en línea de código abierto para Instituciones Públicas de Educación Superior (IPES) en México.

### 1.1 Estructura del documento

Para lograr los objetivos de este trabajo de tesis se seguirá un proceso de prueba y análisis que será la base de los capítulos que conforman esta tesis.

En el **capítulo 1** se describen los objetivos del trabajo de tesis y la estructura de este.

En el **capítulo 2** se describen conceptos relevantes para la supervisión en línea y la importancia de la moderación de contenido.

En el **capítulo 3** se discutirá el estado del arte, donde se estudian los trabajos previos en el campo de la investigación y comercial para la supervisión en línea.

En el **capítulo 4** se presentan los recursos de hardware y software utilizados, así como la metodología con la que se desarrolló el presente trabajo.

En el **capítulo 5** se presentan los resultados obtenidos del presente trabajo de tesis.

Finalmente, en el **capítulo 6** se exponen las conclusiones y trabajos futuros que surgen de esta tesis.

### 1.2 Objetivos generales

El principal objetivo del presente trabajo de tesis es diseño de una arquitectura para un sistema de supervisión en línea de código abierto para Instituciones Públicas de Educación Superior (IPES) en México.

### 1.3 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, el diseño desarrollado en el presente trabajo de tesis deberá cumplir con:

1. Diseñar y analizar arquitecturas mediante una serie de iteraciones para proponer una arquitectura para un sistema de supervisión en línea de código abierto para Instituciones Públicas de Educación Superior (IPES) en México
2. Comparativa de las arquitecturas propuestas con el objetivo de determinar la que cumpla con los otros objetivos

Con el objetivo de evitar trampa durante una evaluación, el sistema de supervisión en línea deberá de cumplir con los siguientes objetivos:

3. No permitir el uso de dispositivos móviles
4. No permitir el uso del material del curso
5. Contar con autenticación para el evaluado
6. Tolerancia de navegación web 0
7. Generación de reporte de la actividad del estudiante
8. Permitir el control remoto de la prueba al evaluador
9. Eliminar la invasión a la privacidad del evaluado

Con el objetivo posibilitar acceso al sistema de supervisión en línea, este deberá cumplir con:

10. Haga uso del principal dispositivo de cómputo disponible por la comunidad estudiantil en México, el teléfono inteligente
11. Consumo de ancho de banda menor a 10Mbps de bajada y 1Mbps de subida

## 2 Definición de términos y conceptos fundamentales

Para comenzar, es necesario establecer los conceptos principales que se utilizan a lo largo de la presente tesis, dividiéndolos en dos categorías: las **acciones ilícitas que pueden ocurrir durante una evaluación y supervisión en línea**.

### 2.1 Acciones ilícitas durante una evaluación

Las acciones ilícitas que pueden ocurrir durante una evaluación, según [17] son las siguientes:

- Copiar de la web
- Copiar del examen de otro estudiante
- Suplantación de identidad
- Fingir enfermedad para evitar el examen
- Darle las respuestas a otro estudiante
- Uso de notas
- Ver una copia robada del examen
- Compartir las respuestas con otro estudiante utilizando señales
- Conservar una copia del examen
- Desarrollar una relación con un miembro del equipo de evaluadores para obtener información sobre una prueba.
- Sobornar a un miembro del equipo de evaluadores para obtener una calificación más alta
- Chantajear a un miembro del equipo de evaluadores para obtener una calificación más alta.
- Darle regalos a un miembro del equipo de evaluadores para obtener una calificación más alta
- Halagar exageradamente a un miembro del equipo de evaluadores para obtener una calificación más alta.

## 2.2 Supervisión en línea

La supervisión, según la Real Academia Española, es la *acción y efecto de supervisar*, mientras que supervisar se refiere a *ejercer inspección en trabajos realizados por otros*. Por su parte, la supervisión en línea u “online proctoring”, antiguamente conocida como supervisión remota o “remote proctoring” y comercialmente conocida como supervisión electrónica o “e-proctoring”, permite a individuos tomar pruebas, exámenes o certificaciones desde una locación remota mientras asegura la integridad de la prueba, examen o certificación [1]. Estos sistemas tienen dos objetivos:

1. Asegurar que la persona tomando la prueba es quien dice ser y
2. Que no hagan acciones ilícitas durante la prueba [1].

### 2.2.1 Tipos de Supervisión en línea

Además de estas características, también se definen tres tipos de sistemas de supervisión en línea [3]:

#### 2.2.1.1 Humana

##### 2.2.1.1.1 Presencial

En el modelo de supervisión remota existe un método conocido como *encuentra tu propio supervisor* por la traducción del inglés “find your own Proctor”, como en la página de la Universidad de Hawái, en Manoa, este consiste en que el estudiante bajo los criterios y limitaciones que impone la institución consiga su propio supervisor para monitorearlo durante su evaluación remota, como la supervisión que se hace cuando la evaluación se hace en salón de clases. El problema con este método es que requiere de un alto grado de logística entre el estudiante y la institución.

##### 2.2.1.1.2 En vivo/directo

Un supervisor humano profesional entrenado para asegurarse de la autenticidad del estudiante, así como para identificar cualquier actividad sospechosa monitorea en tiempo real el video y/o audio del evaluado.

#### 2.2.1.1.3 Grabación

Involucra un supervisor humano profesional revisando la grabación para validar la integridad de la prueba de la misma forma que en el tipo de supervisión anterior con la única diferencia de que no se realiza en vivo sino posterior a ella.

#### 2.3.2 Automatizada

Junto con online proctoring o eProctoring, surgieron instituciones privadas que ofrecen dicho modelo de supervisión como servicio buscando un alto grado de automatización y especialización. En este método el supervisor humano no revisa/monitorean todo el examen, en lugar, el supervisor humano es alertado por un sistema automatizado de posible actividad sospechosa del estudiante, para la revisión y validación de esta.

De las acciones listadas por [17] las que pueden ser controladas por un sistema automatizado son las siguientes:

- Copiar del examen de otro estudiante.
- Suplantación de identidad.
- Darle las respuestas a otro estudiante.
- Uso de notas.
- Ver una copia robada del examen.
- Compartir las respuestas con otro estudiante utilizando señales.
- Conservar una copia del examen.

Los pasos o etapas en un sistema de online proctoring durante una prueba son los siguientes:

1. Identificación del evaluado mediante autenticación biométrica (reconocimiento facial, o dinámicas de teclado).
2. Durante la prueba se llevan a cabo varios análisis:
  1. Análisis de entrada de teclado.
  2. Grabación la actividad del computador.
  3. Grabación del evaluado y su entorno (audio y video).

Dependiendo del servicio contratado, esta información es enviada a un sistema automatizado, canalizado a un supervisor profesional o una mezcla de ambos para así asegurar la integridad de la evaluación. Desafortunadamente, hasta el momento no hay más información o una taxonomía de los sistemas de supervisión.

### *2.2.2 Componentes principales*

Existen cuatro componentes operativos principales de los sistemas de supervisión en línea de acuerdo con [3]:

#### *2.2.2.1 Autenticación*

Proceso que valida que el estudiante tomando la prueba sea el correcto. Para la autenticación se utilizan principalmente algoritmos de reconocimiento facial o dinámicas de teclado.

#### *2.2.2.2 Tolerancia de navegación web*

Define el límite permitido para el estudiante para utilizar su dispositivo para realizar otras acciones. Requiere de software especializado como es el caso de Safe Exam Browser. Estos exploradores web se conectan a un sistema de administración de aprendizaje (LMS por sus siglas en inglés) o a un sistema de examinación en línea y proveen la funcionalidad de configurar el explorador web. Además, bloquean el acceso a otras aplicaciones instaladas en el dispositivo y deshabilitan comandos de navegación de ventanas [11].

#### *2.2.2.3 Control remoto*

Permite al supervisor controlar el estado de la prueba, así como notificar/marcar actividad sospechosa. Requiere tomar en cuenta las diferentes acciones ilícitas que pueden ocurrir durante una evaluación.

#### *2.2.2.4 Generación de reporte*

Creación de reporte con la actividad del estudiante durante la prueba.

### 2.2.3 Consideraciones

De acuerdo con [6], algunas consideraciones al momento de seleccionar un sistema de supervisión por instituciones se muestran a continuación:

- Facilidad y flexibilidad para su integración con sistemas de administración de aprendizaje o por sus siglas en inglés LMS.
- Desempeño técnico
- Robustez (limitaciones de hardware, ancho de banda disponible)
- Nivel de automatización
- Capacidad de reportaje
- Protección y administración de privacidad
- Medidas de seguridad y contra fraude
- Costos

### 2.3 Arquitectura de software

La arquitectura de software de un sistema representa las decisiones de diseño **relacionadas al su estructura** y comportamiento en general. La arquitectura ayuda a los interesados a entender y analizar como el sistema lograra cualidades esenciales como la modificabilidad, escalabilidad y seguridad.

La arquitectura de software soporta el análisis de las cualidades del sistema cuando los equipos están haciendo decisiones sobre el sistema en lugar de posterior a su implementación, integración o puesta en producción. Una arquitectura efectiva sirve como un pegamento conceptual que mantiene cada etapa del proyecto junto para todos los interesados, permitiendo agilidad, ahorro de tiempo, ahorro de dinero e identificación de riesgos [39].

A continuación, se describen los distintos estilos de arquitectura existentes [38].

### *2.3.1 En capas*

Como sugiere el nombre, los componentes en este estilo se separan en capas de subtareas y se organizan una encima de la otra. Cada capa tiene tareas únicas que realizar y todas las capas son independientes entre sí. Dado que cada capa es independiente, se puede modificar el código dentro de una capa sin afectar a las demás. Es el estilo más utilizado para diseñar la mayoría del software. Esta capa también se conoce como "arquitectura de N niveles". Básicamente, este estilo tiene 4 capas.

- 1) Capa de presentación (La capa de interfaz de usuario donde vemos e ingresamos datos en una aplicación).
- 2) Capa empresarial (esta capa es responsable de ejecutar la lógica empresarial según la solicitud).
- 3) Capa de aplicación (esta capa actúa como medio de comunicación entre la "capa de presentación" y la "capa de datos").
- 4) Capa de datos (esta capa tiene una base de datos para administrar datos).

Usos: Desarrollo de aplicaciones web de comercio electrónico como Amazon.

### *2.3.2 Cliente-servidor*

El estilo cliente-servidor tiene dos entidades principales. Son un servidor y múltiples clientes. Aquí el servidor tiene recursos (datos, archivos o servicios) y un cliente solicita al servidor un recurso en particular. Luego, el servidor procesa la solicitud y responde en consecuencia.

Ejemplos de software desarrollado en este estilo:

- Correo electrónico.
- Aplicaciones para compartir archivos.
- Banca, etc...

### *2.3.3 Impulsado por eventos*

La arquitectura impulsada por eventos es un enfoque ágil en el que los servicios (operaciones) del software se activan mediante eventos. Cuando un usuario realiza una acción en la aplicación, ocurre un cambio de estado y se genera una reacción que se denomina evento. Por ejemplo: un nuevo usuario llena el formulario de registro y hace clic en el botón de registro en Facebook y luego se crea una cuenta de FB para él, que es un evento.

Ideal para: Creación de sitios web con JavaScript y sitios web de comercio electrónico en general.

### *2.3.4 Micronúcleo*

El estilo de microkernel tiene dos componentes principales. Un sistema central y módulos empotrables. El sistema central maneja las operaciones fundamentales y mínimas de la aplicación. Los módulos de complemento manejan las funcionalidades extendidas (como características adicionales) y el procesamiento personalizado.

Algunos usos de este estilo son: aplicaciones basadas en productos y aplicaciones de programación. Como los carretes de Instagram, los cortos de YouTube, por lo tanto, este estilo se prefiere principalmente para el desarrollo de aplicaciones.

### *2.3.5. Microservicios*

La colección de pequeños servicios que se combinan para formar la aplicación real es el concepto de estilo de microservicios. En lugar de crear una aplicación más grande, se crean programas pequeños para cada servicio (función) de una aplicación de forma independiente. Y esos pequeños programas se agrupan para ser una aplicación completa. Por lo tanto, agregar nuevas funciones y modificar los microservicios existentes sin afectar a otros microservicios ya no es un desafío cuando una aplicación se crea en un estilo de microservicios. Los módulos en la aplicación de estilos de microservicios están débilmente acoplados. Por lo que son fácilmente comprensibles, modificables y escalables. Ejemplo Netflix es uno de los ejemplos más populares de

arquitectura de microservicios integrada de software. Este estilo es más adecuado para sitios web y aplicaciones web que tienen componentes pequeños.

Dado que en el presente trabajo de tesis se busca escalabilidad y flexibilidad, se opta por usar este tipo de arquitectura.

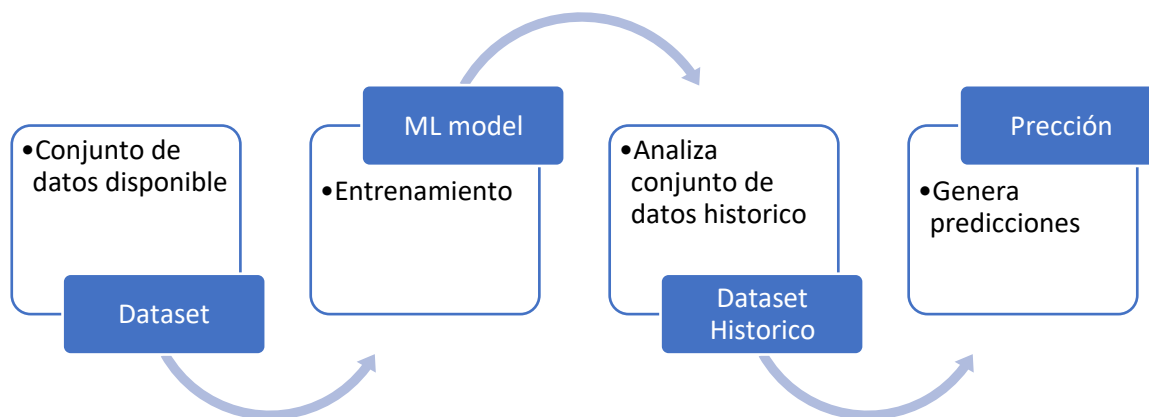
#### 2.4 Operación de modelos de aprendizaje automático

MLOps u Operaciones de Aprendizaje Automática (por la traducción del inglés de *Machine Learning Operations*), tiene como objetivo establecer los mejores procesos de extremo a extremo para el diseño, construcción y administración de software (basado en aprendizaje profundo) reproducible, validable y evolutivo. *MLOps* presenta cuatro estilos arquitectónicos para modelos. [42]

##### 2.4.1 Forecast

Este tipo de flujo de trabajo definido en la Figura 7 se encuentra ampliamente extendido en investigaciones académicas y en la enseñanza de ciencia de datos. Se usa para experimentar con algoritmos de aprendizaje profundo y datos debido a que es la forma más sencilla de crear un sistema de aprendizaje automático. Este flujo de trabajo no es muy útil por lo que no es utilizado en la industria [42]

Figura 7 - Flujo de trabajo "Forecast" de aprendizaje automático



### 2.4.2 Web-Service

La forma más descrita para desplegar un modelo de aprendizaje profundo es servicio web o microservicio. Este modelo es entrenado fuera de línea utilizando datos históricos ilustrado en la Figura 8, pero hace predicciones usando datos de la vida real. El flujo de trabajo de estos sistemas hace predicciones en tiempo real analizando un solo dato como se muestra en la Figura 9. El modelo permanece constante hasta que es re-entrenado y re-desplegado en el sistema productivo. [42]

Figura 8 - Flujo de trabajo "Web Service" de aprendizaje automático

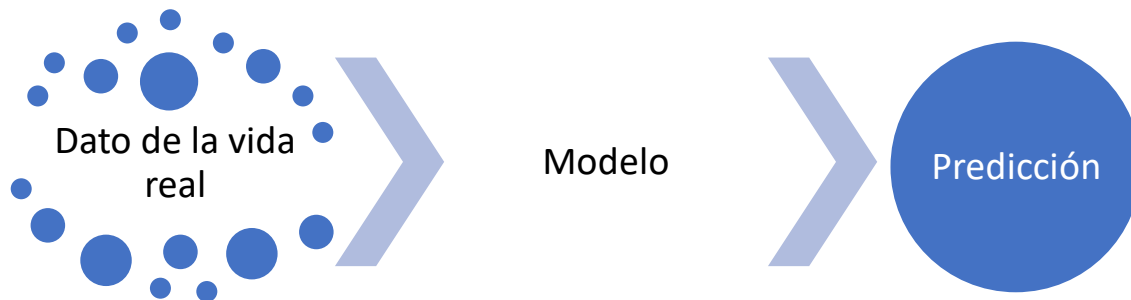
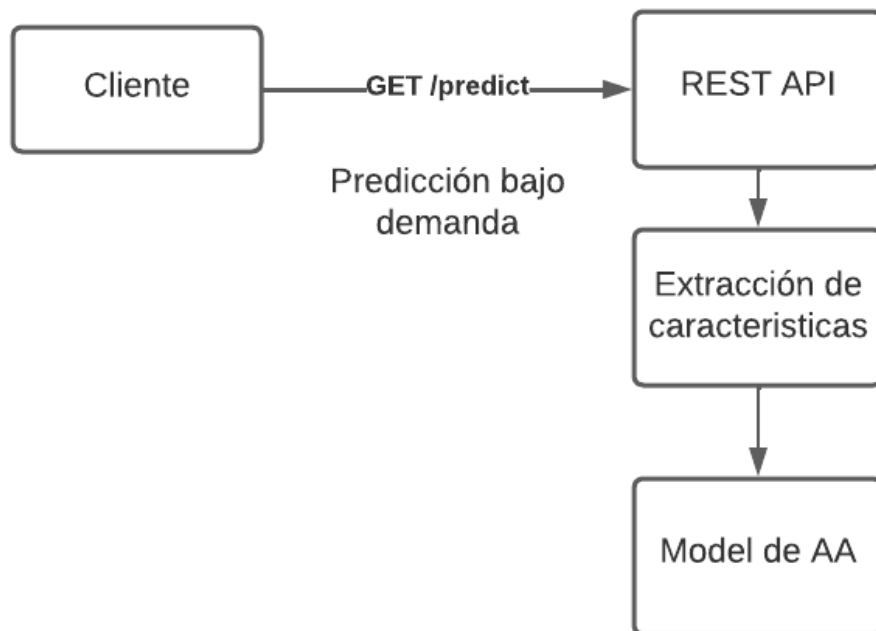


Figura 9 - Flujo ejecución "Web Service" de aprendizaje automático



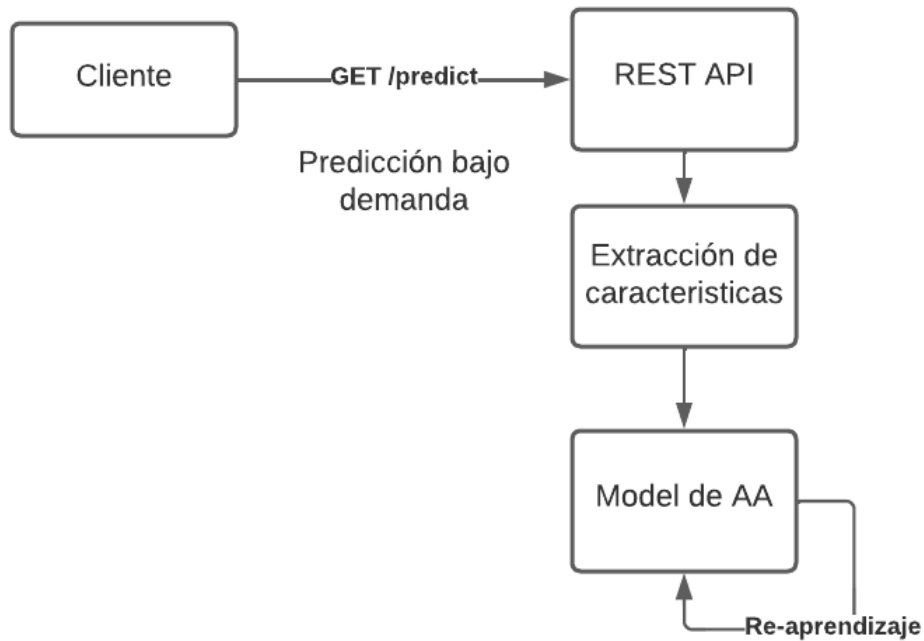
### 2.4.3 Online learning

**Online** learning o aprendizaje en línea (por su traducción al español) es la forma más dinámica de incrustar aprendizaje automático a un sistema productivo. En este flujo de trabajo en la Figura 10 el algoritmo de aprendizaje recibe datos continuamente, llevando a un re-entrenamiento incremental del modelo. Este modelo re-entrenado de forma inmediata se convierte en el servicio web bajo consumo ilustrado en la Figura 11 [42]

Figura 10 - Flujo de trabajo "Online Learning" de aprendizaje automático



Figura 11 - Flujo de ejecución "Online Learning" de aprendizaje automático



#### *2.4.4 AutoML*

AutoML o Aprendizaje automático automatizado (por su traducción del inglés) promete el entrenamiento de modelos de aprendizaje profundo con el mínimo esfuerzo y sin requerir de experiencia o conocimiento en el tema. El usuario únicamente debe de proveer al sistema con datos y esté automáticamente selecciona un algoritmo. Actualmente continua como una forma experimental de flujo de trabajo usualmente provisto por los grandes proveedores de servicios en la nube. [42]

### 2.5 Otros conceptos

#### *2.5.1 Data set*

Conjunto de datos tabulados en cualquier sistema de almacenamiento de datos estructurados. [25].

#### *2.5.2 Aprendizaje Automático*

El Aprendizaje Automático comprende algoritmos capaces de completar una tarea específica, como la regresión lineal, árboles de decisión, SVM, redes bayesianas, bosques aleatorios algunos ejemplos de aplicación pueden ser las recomendaciones sobre un tema en específico o producto, diagnósticos médicos, detección de spam. El AA rompe el paradigma de la programación clásica, dando como entrada a los algoritmos las respuestas esperadas de un determinado conjunto de datos y obteniendo como resultado las reglas para identificar estas respuestas [20].

#### *2.5.3 Redes Neuronales*

Las Redes Neuronales, son modelos matemáticos que asemejan el funcionamiento de una neurona real en el cerebro. Consisten en un conjunto de unidades de procesamiento, llamadas neuronas artificiales y se organizan en capas. Hay tres partes normalmente en una red neuronal: una capa de entrada, con unidades que representan los campos de entrada; una o varias capas ocultas; y una capa de salida, con una unidad o unidades que representa el campo o los campos de destino. La red aprende examinando los registros individuales, generando una predicción para cada registro y realizando ajustes

a las ponderaciones cuando realiza una predicción incorrecta. Este proceso se repite muchas veces y la red sigue mejorando sus predicciones hasta haber alcanzado uno o varios criterios de parada. Este proceso es lo que se conoce como entrenamiento y a medida que progresa, la red se va haciendo cada vez más precisa en la replicación de resultados conocidos. Una vez entrenada, la red se puede aplicar a casos futuros en los que se desconoce el resultado, lo que se conoce como clasificación [19].

#### *2.5.4 Aprendizaje profundo*

El Aprendizaje Profundo (en adelante AP), es un subconjunto del AA que utiliza RN y lo profundo de estos algoritmos viene del hecho de que entrenan en NN profundas, es decir, redes que tienen varias capas ocultas. El tipo más común de estas redes son denominadas convolucionales (CNN o ConvNet), además, al utilizar filtros bidimensionales, hace que esta arquitectura sea muy adecuada para procesar datos 2D, como imágenes. Algunas de las aplicaciones del AP son: colorear fotografías, traducciones automáticas, clasificación de objetos y/o personas en una imagen, generación de etiquetas que describen una imagen, etc. [20]

#### *2.5.5 SaaS*

Software como servicio por la traducción del inglés de *Software as a Service*, es una forma de poner a disposición software y soluciones de tecnología por medio de la internet, como un servicio. Las aplicaciones SaaS también son llamadas softwares basados en Web, software bajo demanda o softwares hospedados. Son ejecutados en los servidores de las empresas proveedoras, que tienen la responsabilidad de gestionar el acceso y mantener la estructura de datos, la conectividad y los servidores necesarios para el funcionamiento del servicio. [23]

#### *2.5.6 Visión artificial*

Las máquinas utilizan la visión artificial para identificar a las personas, los lugares y los objetos en las imágenes con una precisión igual o superior a la humana y con una velocidad y eficacia mucho mayores. Mediante una compleja tecnología de inteligencia

artificial (IA), la visión artificial automatiza la extracción, el análisis, la clasificación y la comprensión de la información útil a partir de los datos de las imágenes. Los datos de la imagen adoptan muchas formas, como las siguientes: [18]

- Imágenes individuales
- Secuencias de video
- Visualizaciones de varias cámaras
- Datos tridimensionales

#### *2.5.7 Detección de objetos*

La detección de objetos, por la traducción del inglés *object detection* es una tecnología de ordenador relacionada con la visión artificial y el procesamiento de imagen que trata de detectar casos de objetos semánticos de una cierta clase (como humanos, edificios, o coches) en vídeos e imágenes digitales. Los ámbitos mejor desarrollados de detección de objetos incluyen detección de caras y detección de personas. La detección de objetos tiene [35]

#### *2.5.8 Autenticación biométrica*

Biometría es un término técnico para referirse a los rasgos físicos o de comportamiento de los humanos. La autenticación biométrica es un concepto en seguridad de datos. Las soluciones de autenticación biométrica crean un modelo generado por datos que representa al individuo. Con ese modelo e información biométrica, los sistemas de seguridad pueden autenticar el acceso a las aplicaciones y otros recursos de la red. La autenticación biométrica se está convirtiendo rápidamente en un componente popular de las estrategias de autenticación multifactor, porque combina un fuerte desafío de autenticación con una experiencia de usuario de baja fricción. [36]

#### *2.5.9 Reconocimiento Facial*

El reconocimiento facial, de la traducción del inglés *face recognition*, identifica o confirma la identidad de una persona a partir del rostro. Funciona mediante la identificación y medición de los rasgos faciales en una imagen. El reconocimiento facial puede identificar

rostros humanos en imágenes o videos, determinar si el rostro que aparece en dos imágenes pertenece a la misma persona o buscar un rostro entre una gran colección de imágenes existentes. Los sistemas de seguridad biométricos utilizan el reconocimiento facial para identificar de forma exclusiva a las personas durante la incorporación o el inicio de sesión de los usuarios, así como para reforzar la actividad de autenticación de estos. Los dispositivos móviles y personales también utilizan con frecuencia la tecnología de los analizadores faciales para proteger los dispositivos. [18]

#### 2.5.10 Detección de múltiples rostros

La detección de rostros es un problema en donde se busca localizar más de un rostro en una fotografía o en múltiples *frames* de un video, esta localización consiste en encontrar las coordenadas del rostro (o de los rostros) dentro de esa imagen. Es decir que lo que se busca es encontrar la caja delimitadora de cada rostro, la cajita que demarca su ubicación dentro de la imagen o *frame*. [22]

#### 2.5.11 Audio a texto

Audio a texto de la traducción al inglés de *Speech-to-text*, es un software de reconocimiento de voz que permite el reconocimiento y la traducción del lenguaje hablado a texto a través de la lingüística computacional. También se conoce como reconocimiento de voz o reconocimiento de voz por ordenador. Algunas aplicaciones, herramientas y dispositivos específicos pueden transcribir flujos de audio en tiempo real para mostrar texto y actuar en consecuencia. [21]

#### 2.5.12 Diarización de locutores

Diarización de locutores por la traducción del inglés de *speaker diarization*, consiste en, dado un audio de entrada determinar los intervalos de tiempo en los que intervienen distintos locutores sin tener ningún tipo de información adicional, además del propio audio, de forma independiente al tipo de canal y a la presencia de cualquier tipo de ruido de fondo. [24]

#### *2.5.13 Seguimiento de ojos*

Seguimiento de ojos (traducido del inglés *eye tracking*) es el proceso de evaluar, bien el punto donde se fija la mirada (donde estamos mirando), o el movimiento del ojo en relación con la cabeza. Este proceso es utilizado en la investigación en los sistemas visuales, en psicología, en lingüística cognitiva y en diseño de productos.

Existen diversos sistemas para determinar el movimiento de los ojos. La variante más popular utiliza imágenes de vídeo a partir de las cuales se extrae la posición del ojo. Otros métodos utilizan bobinas de búsqueda o están basados en electrooculogramas. [37]

#### *2.5.14 Dinámica de tecleo*

La dinámica de tecleo (traducción del inglés *keyboard dynamics*), o biometría del tecleo, es la información de tiempo detallado que describe exactamente cuándo cada tecla es presionada y soltada por una persona cuando escribe en un teclado de computadora. La dinámica de tecleo es una rama de la biometría que se dedica al estudio del reconocimiento del patrón de tecleo de un usuario. [27]

#### *2.5.15 Procesamiento de lenguaje natural*

El procesamiento del lenguaje natural (PLN), como rama de la inteligencia artificial, utiliza el aprendizaje automático para procesar e interpretar textos y datos. El reconocimiento y la generación de lenguaje natural son tipos de PLN. El procesamiento del lenguaje natural (PLN) utiliza el aprendizaje automático para mostrar la estructura y el significado de los textos. Con las aplicaciones de PLN, las organizaciones pueden analizar texto y extraer información sobre personas, lugares y eventos para comprender mejor las opiniones en las redes sociales y las conversaciones de los clientes. [28]

#### *2.5.16 Estimación de la posición de la cabeza*

La estimación de la posición de la cabeza hace uso de visión por computadora para obtener el ángulo de la cara con respecto a la cámara. [10]

#### *2.5.17 Detección del estado de la boca*

Haciendo uso de tecnología de visión por computadora se calcula la redondez de la boca al estar abierta o cerrada. Al aplicarse en video es posible predecir si la persona se encuentra hablando. [10]

#### *2.5.18 Realidad virtual*

La realidad virtual (RV) es un entorno de escenas y objetos simulados de apariencia real. La acepción más común refiere a un entorno generado mediante tecnología informática, que crea en el usuario la sensación de estar inmerso en él. Dicho entorno es contemplado por el usuario a través de un dispositivo conocido como gafas o casco de realidad virtual. Este puede ir acompañado de otros dispositivos, como guantes o trajes especiales, que permiten una mayor interacción con el entorno, así como la percepción de diferentes estímulos que intensifican la sensación de realidad. [29]

## 3 Estado del arte

A continuación, se describe sobre la información disponible de sistemas de supervisión en línea en el ámbito de investigación y comercial.

### 3.1 Investigaciones

En [8] se propone un sistema de autenticación biométrica continua del usuario para evaluaciones en línea o *Continues User Biometric Authentication for Online Evaluation* CBUA-OE (por sus siglas en ingles). Para ello propone el uso de una optimización basada en LCNN-Salp híbrido en enjambre, el cual es un tipo de sistema neuronal, en combinación con una versión modificada del algoritmo de optimización de Wolf, algoritmo para la extracción de características.

En [30] se plantea un sistema para la prevención de trampa que consiste en la generación de la evaluación de forma aleatoria, usando un banco de preguntas, las que tendrán un tiempo fijo para ser contestadas y tolerancia de navegación usando software especializado como es el caso del *Safe Exam Browser*.

En [10] se presenta un sistema para el monitoreo de la actividad anormal del examinando mediante la obtención (usando cámara web) de la postura de la cabeza que consiste en obtener ángulo de rotación de la cabeza y el estado de la boca usando la librería dlib para la obtención los puntos fiduciales del rostro y posteriormente los de la boca. Posteriormente el sistema de razonamiento basado en reglas determina si hay comportamiento anormal.

En [31] se expone un sistema de supervisión para teléfonos inteligentes, requiriendo que el evaluado haga uso de una aplicación móvil que limita el tiempo para la evaluación y requiere la autenticación continua mediante reconocimiento facial.

De lo anterior, se observa que lo que se ha considerado como acciones ilícitas en los trabajos de investigación consiste en la suplantación de identidad, obtención de

respuestas de otras fuentes (e.g. preguntarle a otro individuo, revisar notas, etc) y las tecnologías más usadas son los sistemas de reconocimiento facial continuo.

### 3.2 Servicios

Criterios para la selección del servicio [3]

- Capacidades de integración
- Frecuencia de actualizaciones
- Costos
- Basadas en la nube o administradas por el cliente
- Experiencia de usuario [3]

#### 3.2.1 ProctorU

Es un servicio comercial de supervisión en línea que ofrece tres formas de llevar a cabo la supervisión. [32]

*Tabla 1 - Servicios ProctorU*

<b>Live+</b>	<b>Review+</b>	<b>Record+</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Software de monitoreo y revisión humana en tiempo real</li> <li>• Sala de supervisión en vivo</li> <li>• Intervención ante comportamiento sospechoso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sala de supervisión en vivo</li> <li>• Visualización de grabación bajo demanda o en vivo</li> <li>• Revisión profesional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sala de supervisión automatizada</li> <li>• Revisión profesional de los resultados</li> </ul>

#### 3.2.2 SMOWL

Es un servicio comercial de supervisión en línea que ofrece cinco formas de llevar a cabo la supervisión. [33]

Tabla 2 - Servicios SMOWL

<b>Smowl</b>	<b>smowl+</b>	<b>smowl360</b>	<b>smowl-human</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificación de identidad</li> <li>• Confirma ausencia de compañía</li> <li>• Detecta objetos</li> </ul>	Incluye todo lo de snowl más <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grabación de pantalla y programas</li> <li>• Otros teclados o dispositivos</li> <li>• Navegación web</li> <li>• Captura de comandos</li> <li>• Capturas de pantalla</li> </ul>	Extensión: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Supervisa al usuario utilizando las cámaras del celular</li> </ul>	Extensión: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Añade servicio de supervisores profesionales</li> </ul>

### 3.3.3 Proctorio

Es un servicio comercial de supervisión en línea que ofrece dos formas de llevar a cabo la supervisión. [34]

Tabla 3 - Servicios Proctorium

<b>Automatizado</b>	<b>En vivo</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Software de monitoreo</li> <li>• Revisión humana</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Software de monitoreo y revisión humana en tiempo real</li> </ul>

### 3.3 Complejidad de implementación

#### 3.3.1 Privacidad

De acuerdo con [6], en los sistemas de supervisión en línea, la privacidad del usuario es una preocupación mayor, esto debido a que cuando estos programas están en uso tienen acceso a al audio y video del estudiante. Además, menciona la importancia de que estos sistemas sean robustos, seguros y garanticen la seguridad del evaluado esto debido a que la mayoría de los documentos necesarios para validar la identidad de éste contienen información delicada y podrían prestarse a la realización de actividades inmorales por los supervisores.

En [5] 106 estudiantes respondieron a la encuesta realizada. De los cuales en promedio 88% estuvo de acuerdo con las aseveraciones correspondientes a la privacidad, 86% estuvo de acuerdo con “Siento que abrir la cámara web durante un examen es impráctico y rompería mi privacidad”, 89.6% “la mayor preocupación de utilizar herramientas de supervisión remota es mi privacidad”, 85.9% se identificaban con “preocupaciones acerca del uso de los videos y fotos durante el examen” y 89.6% “sienten que las herramientas de supervisión remota están invadiendo su vida personal y reduciendo su satisfacción en el aprendizaje”.

#### 3.3.2 Costos

En México el presupuesto de las IES no resulta suficiente para enfrentar los gastos, incluso los ordinarios [13]. Hasta el momento no se ha encontrado evidencia de que el gobierno haya destinado recursos o vaya a destinar recursos para la digitalización de las IPES y por consecuencia para la supervisión en línea de exámenes.

Por otro lado, éste costo tampoco podría ser absorbido por la comunidad estudiantil, debido a que volvería a la educación aún más prohibitiva. En 2015 el 42% de la población que entraba a la ES provenía de hogares en los deciles de ingresos más altos, en contraste con 7% de aquéllos en los primeros deciles. [9]

### 3.3.3 Ancho de banda necesario

Actualmente gracias a la tecnología tenemos la posibilidad de trabajar desde nuestros hogares. Sin embargo, esto viene acompañado de algunos retos, debido a que para trabajar desde casa lo mínimo recomendado por persona es una velocidad de bajada de 10Mbps y una velocidad de subida 1Mbps [2].

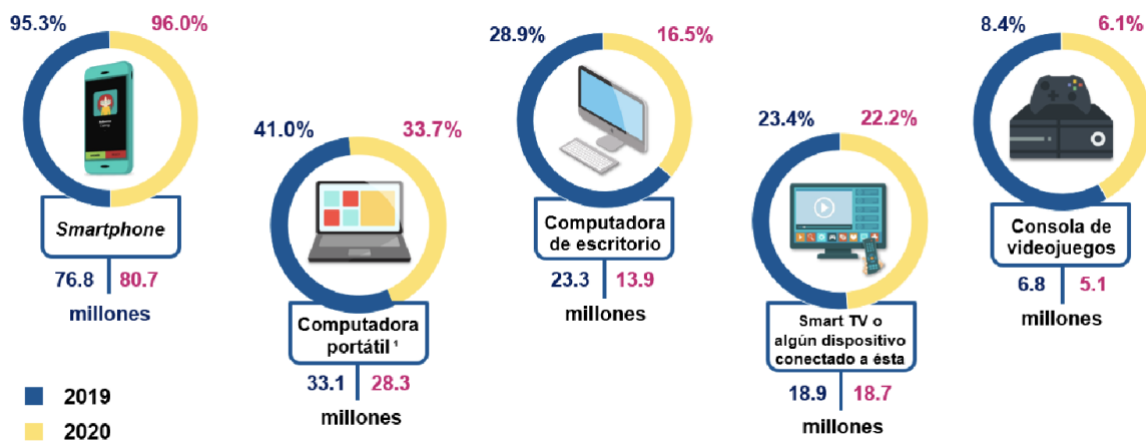
A través del ranking mundial de velocidad de conexión a internet de Speedtest, propiedad de Ookla, sabemos que en agosto del 2022 México se encontraba en la posición 77 global, con velocidades promedio de 44.84 y 14.09 en subida y bajada respectivamente en la red móvil y con velocidades promedio de 74.66Mbps y 28.90 en subida y bajada respectivamente en la red fija [14].

### 3.3.4 Disponibilidad de Dispositivos Electrónicos

En el 2020 la población en México ascendía los 126 millones [7], 84.1 millones tienen acceso a internet, 80 millones cuenta con celular inteligente como se puede ver en la Figura 12. Esto indica que 7 de cada 10 mexicanos tienen un dispositivo móvil [12].

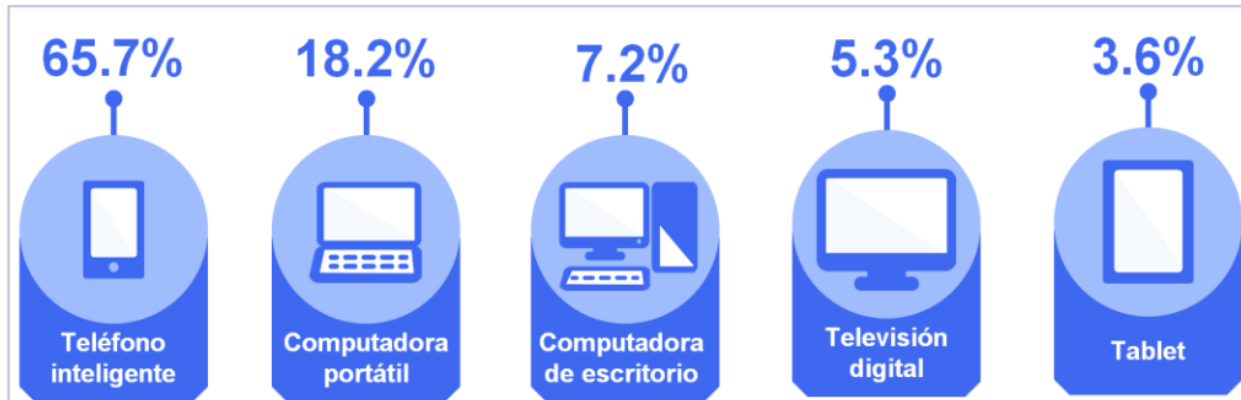
Los tres principales medios para la conexión de usuarios de internet en 2020 fueron: celular inteligente con 96.6%, computadora portátil con 33.7% y con televisor con acceso a internet 22.2% [12].

Figura 12 - Usuarios de celular inteligente según tipo de conexión a internet, 2016-2020 (Sala de prensa, s/f)



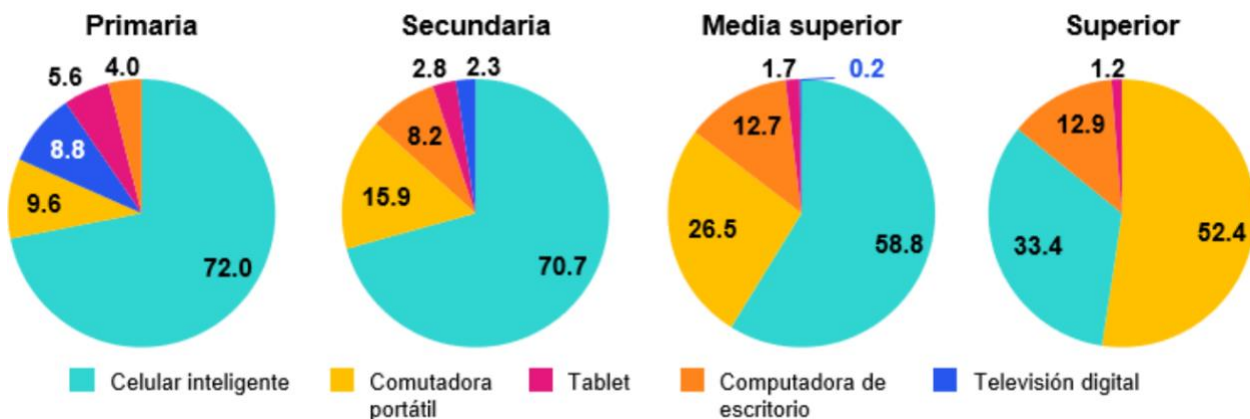
Lo anterior se refuerza al ver las estadísticas de los dispositivos utilizados para las actividades escolares (ver Figura 13).

Figura 13 - Porcentaje de la población de 3 a 29 años inscritos en el ciclo escolar 2019–2020, según principales aparatos o dispositivos electrónicos usados para sus actividades escolares o clases a distancia



Por nivel de escolaridad (ver Figura 14), 52.4% de la población de educación superior usó de la computadora portátil como herramienta para recibir clases, mientras que 72.0% de los alumnos de primaria utilizaron un celular inteligente.

Figura 14 - Porcentaje de la población de 3 a 29 años inscritos en el ciclo escolar 2019–2020, según aparatos o dispositivos electrónicos usado principalmente para sus actividades escolares o clases a distancia, por nivel de escolaridad



### 3.3.5 Recepción estudiantil

Entre las ventajas percibidas por la población destacan no poner en riesgo la salud con un 56.4%, propiciar la convivencia familiar con 22.3% y el ahorro de dinero con 19.4%, por lo que no se descarta el apoyo a continuar con esta modalidad de aprendizaje por parte de alumnos y padres de familia.

Por otro lado, la Figura 15 muestra que, las principales desventajas, 58.3% opinan que no se aprende o se aprende menos que de manera presencial, seguida de la falta de seguimiento al aprendizaje de los alumnos (27.1%) y de la falta de capacidad técnica o habilidad pedagógica de padres o tutores para transmitir los conocimientos (23.9%).

Figura 15 - Distribución porcentual de la población informante de 18 años y más en viviendas con teléfono y con población de 3 a 29 años, según opinión sobre las ventajas y desventajas de las clases a distancia o virtuales



Nota: Corresponde a población en viviendas en donde hubo alguna persona inscrita en algún ciclo escolar (2019-2020 y 2020-2021)  
Fuente: INEGI. Encuesta para la Medición del Impacto COVID-19 en la Educación.

### 3.4 Recapitulación

De manera general, se puede observar que las tecnologías que se podrían utilizar para mitigar los riesgos de que los alumnos realicen actividades ilícitas durante las evaluaciones en línea son las siguientes:

- Detección de múltiples rostros
- Diarización de locutores
- Audio a texto
- Procesamiento de lenguaje natural
- Estimación de la mirada basado en imágenes del ojo

- Detección de objetos
- Dinámicas del tecleo
- Estimación de la posición de la cabeza
- Estimación del estado de la boca
- Realidad virtual

Para el caso de la diarización de locutores, se incluye dado que, investigando sobre sistemas de aprendizaje profundo enfocados a la conversión de audio a texto, se evaluó que esta tecnología puede ser utilizada para resolver problemáticas que se resuelven utilizando visión artificial como son el detectar el número de personas y además solucionar otros como es el detectar el tema en la conversación al usarse en conjunto con procesamiento de lenguaje natural.

La realidad virtual al hacer unos de un visor que restringe el rango de visión de la persona a solo lo mostrado a través de los lentes, puede ser usado como mecanismo de control, permitiendo hacer un cambio de paradigma de un sistema de monitoreo a un sistema de control.

Las dinámicas de tecleo al detectar patrones en el uso del teclado, puede ser utilizada para la autenticación continua.

Es importante mencionar que las tecnologías que implican el uso de APIs de aprendizaje automático, aún no están bien preparadas para manejar la subjetividad de sesgos raciales y contextos sociales, proporcionan etiquetas predeterminadas que pueden no ajustarse a lo que se requiere, implicando recolección de datos del entorno en el que se desee implementar, así como el reentrenamiento de los modelos de aprendizaje automático con dichos datos.

La justificación ética de estas tecnologías y sus diversas capacidades requiere que se asegure un equilibrio entre las consideraciones del entorno social con los beneficios en la medida de las capacidades de la institución y alumnado en cuestión en donde se desee implementar el sistema, por lo que se necesita una alternativa de supervisión en línea de código abierto para Instituciones Públicas de Educación Superior (IPES) en México.

## 4 Metodología

### 4.1 Software

- Lucidchart: herramienta web para realizar diagramas.

### 4.2 Hardware

Para la implementación y visualización se utilizó un equipo propio, una laptop MacBook Air M1 2020 con las siguientes características:

- Apple M1 CPU a 3.2 GHz con 4 núcleos de rendimiento y 4 núcleos de eficiencia
- 8GB DDR3 de memoria RAM
- 250GB de disco duro de estado solido

### 4.3 Flujo de trabajo

Para el desarrollo de esta tesis se usa la metodología ágil, *scrum*, cuyo flujo se muestra en la Figura 16. Esta metodología es iterativa, es decir se lleva a cabo un proceso de refinación, para la presente tesis las etapas de la metodología ágil se aplican como se describe a continuación.

Figura 16 - Metodología Ágil



#### 4.3.1 Planificación

Se estimó el trabajo usando unidades de trabajo denominadas iteración o sprint usando un periodo de 1 semana.

#### 4.3.2 Desarrollo

Se hará una propuesta de diseño para una funcionalidad del sistema.

#### 4.3.3 Pruebas

Para validar el cumplimiento de los objetivos de la tesis que también son requerimientos se utilizarán listas de comprobación, el cual es un tipo de método de revisión estática aplicable a arquitecturas y especificaciones de diseño [40].

#### 4.3.4 Implementación

Dado que el presente trabajo de tesis tiene por objetivo principal el diseño de la arquitectura de un sistema de supervisión en línea, se realizará conforme la nomenclatura de diagramado C4 [41].

#### 4.3.5 Revisión

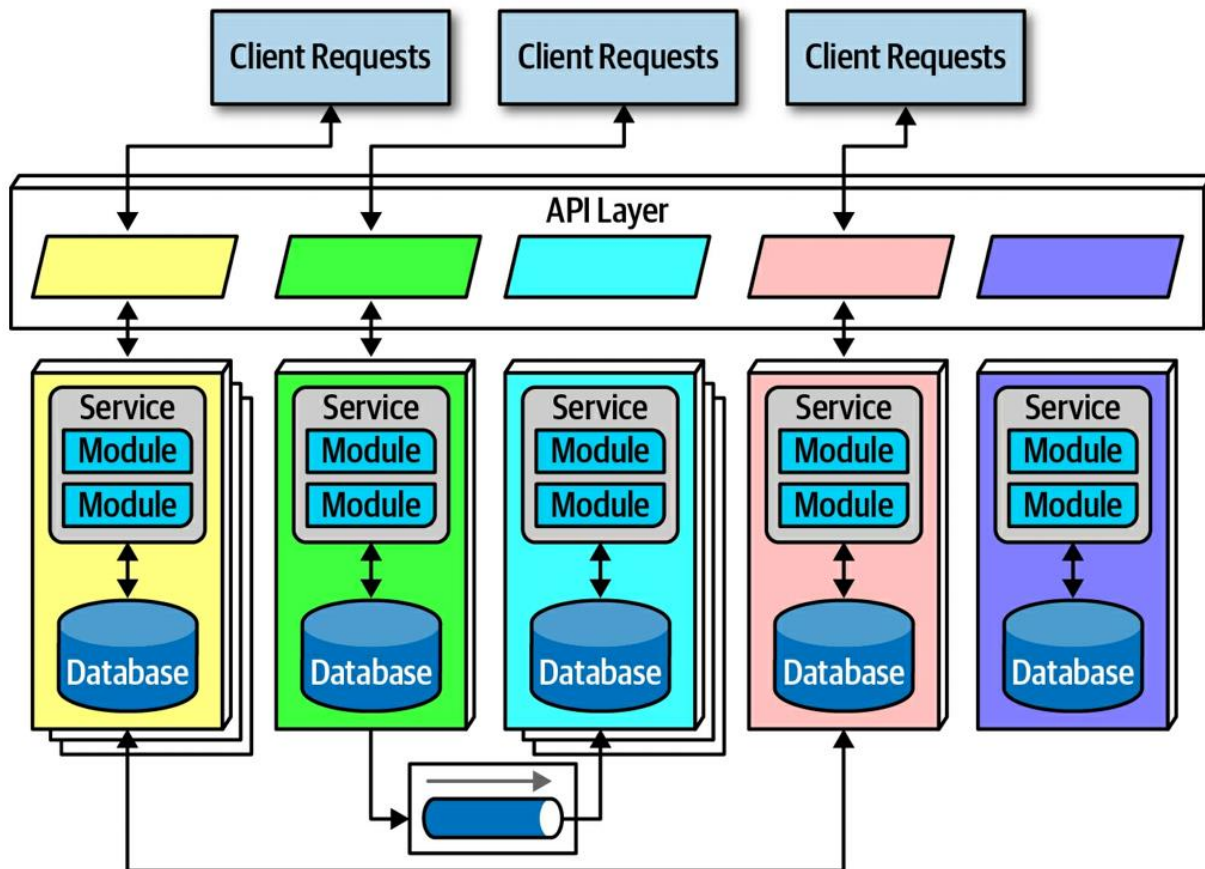
Una vez terminadas las etapas anteriores se hace un análisis de que se hizo correctamente y que no, esto con la finalidad de hacer los ajustes necesarios para mejorar la siguiente iteración.

### 4.4 Estilo arquitectónico

En la industria, el estilo arquitectónico más utilizado para desplegar modelos de aprendizaje profundo es microservicios (ver Figura 17). Bajo el estilo de microservicios se crean programas pequeños para cada servicio (función) de una aplicación de forma independiente. Este estilo es deseado para nuestra aplicación debido a que los modelos de aprendizaje automático proveen únicamente una funcionalidad dentro del sistema, su independencia permite proveer al servicio con exactamente lo necesario para su óptimo

desempeño, además de que facilita su escalabilidad y una evolución aislada para cubrir las necesidades de la institución.

Figura 17 - Topología de microservicios [41]



#### 4.5 Metodología de diseño

El modelo C4 se inspiró en el lenguaje de modelado unificado (UML) y el modelo 4+1 para arquitectura de software, por lo que se puede pensar en el modelo C4 como una versión simplificada de estos, diseñada para:

- 1) Facilitar que los desarrolladores de software describan y comprendan cómo funciona un sistema de software y
- 2) Minimizar la brecha entre el software modelo/descripción de la arquitectura y el código fuente.

Además, el “Modelo C4” provee un pequeño conjunto de atracciones y diagramas haciéndolo sencillo de aprender y utilizar. Estas abstracciones reflejan como los arquitectos y desarrolladores, piensan y construyen software, creando un lenguaje común que puede ser usado para describir las estructuras estáticas del software [41]. Debido a esta flexibilidad y facilidad se decidió hacer uso de este modelo para el análisis y presentación de las propuestas en el presente trabajo de tesis.

#### 4.5.1 Abstracciones

**Persona:** representa a un usuario humano de tu sistema.

**Software:** es nivel de abstracción más alto que provee valor a los usuarios, sin importar que sean humanos o no. Esto incluye el software que se modelando y otro software en el que nuestro software depende o viceversa.

**Contenedor:** representa una aplicación o almacenamiento. Un contenedor es algo que necesita estar corriendo para que el sistema funcione.

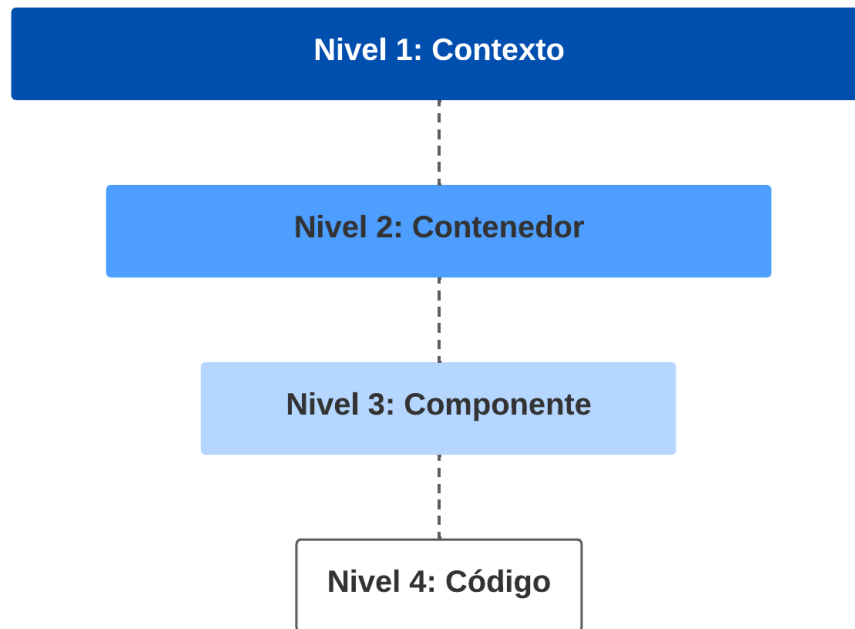
**Componente:** agrupamiento de funcionalidad encapsulado detrás de una interfaz muy bien definida.

**Código:** representación de como los componentes serían interpretados en código; usando diagramas de clase UML, ER, etc.

#### 4.5.2 Diagramas

Para visualizar esta colección de abstracciones el modelo C4 indica la creación de cuatro diagramas: Contexto, Contenedores, Componentes y Código; de los mismo que recibe su nombre. Los diagramas se encuentran listados de mayor grado de abstracción a menor en la Figura 18, siendo el diagrama de contexto el de mayor grado de abstracción y el diagrama de código el más concreto.

Figura 18 - Niveles de diagramas modelo C4 [41] Traducción propia

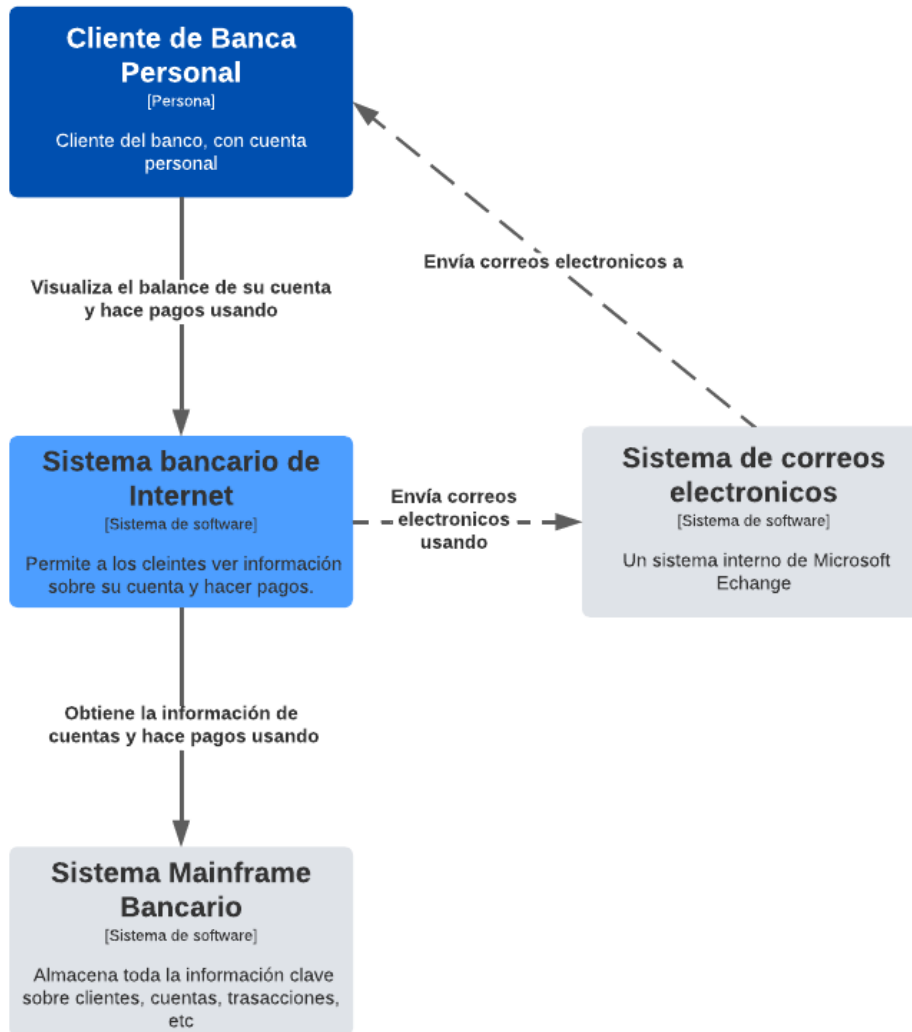


Para el presente trabajo únicamente se llegará hasta el diagrama de contenedores permitiendo así al desarrollador que haga uso de las mejores herramientas disponibles en su contexto contemporáneo.

#### 4.5.2.1 Diagrama de contexto

Es una gran herramienta para comenzar a documentar el sistema de software, nos permite dar un paso atrás y ver el panorama. Los detalles no son importantes debido a que este es el panorama del paisaje de nuestro sistema. El enfoque es en personas y sistemas de software en vez de tecnologías, clases o algún otro detalle. La Figura 19 es el tipo de diagrama, que muestras a personas no técnicas.

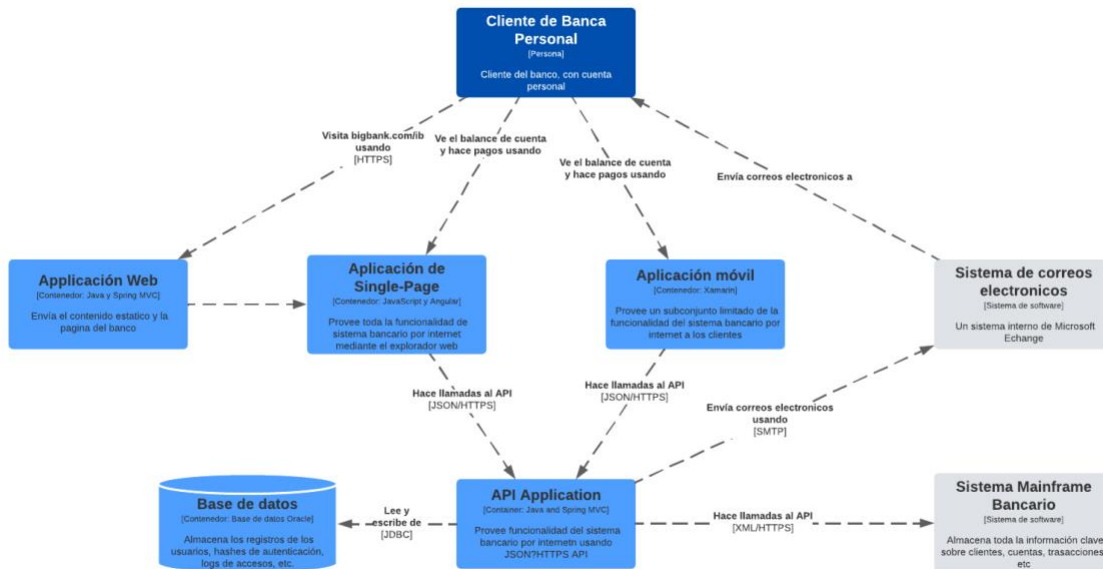
Figura 19 - Ejemplo diagrama de contexto [41] Traducción propia



#### 4.5.2.2 Diagrama de contenedores

Una vez que se entiende como el sistema encaja, incrementamos el detalle, ahora para entender los límites de sistema. La Figura 20 muestra a grandes rasgos la forma de nuestra arquitectura de software y como las responsabilidades se encuentran distribuidas. También muestra elementos tecnológicos mayores y como estos se comunican. Está enfocado a la tecnología útil para desarrolladores de software y operadores.

Figura 20 - Ejemplo diagrama de contenedores [41] Traducción propia



#### 4.5.2.3 Diagrama de componentes

En la Figura 21 se descompone una selección de contenedor para mostrar los elementos estructurales clave y sus interacciones. Además, muestra las tecnologías usadas y otros detalles de implementación.

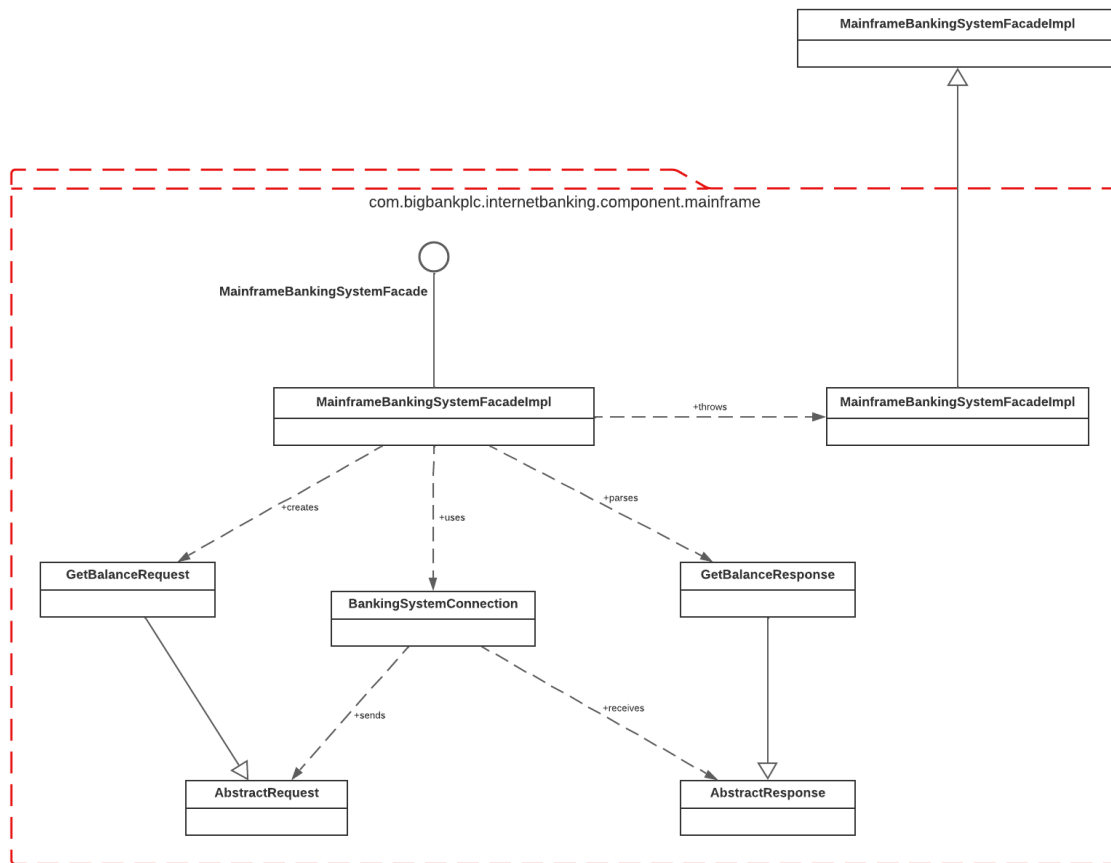
Figura 21 - Ejemplo diagrama de componentes [41] Traducción propia



#### 4.5.2.4 Diagrama de código

En la Figura 22 se hace uso de diagramas de UML para mostrar como cada componente se encuentra estructurado lógicamente.

Figura 22 - Ejemplo diagrama de código [41]



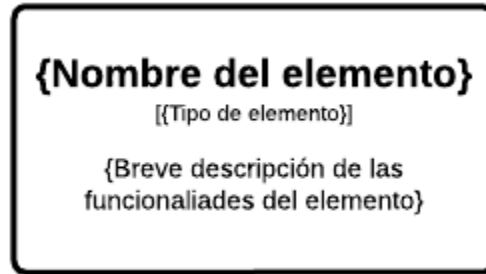
#### 4.5.3 Notación

Para el presente trabajo de tesis se utilizó una notación similar a la de los ejemplos anteriores de los tipos de diagramas de la arquitectura C4. La notación es la siguiente:

##### 4.5.3.1 Bloques

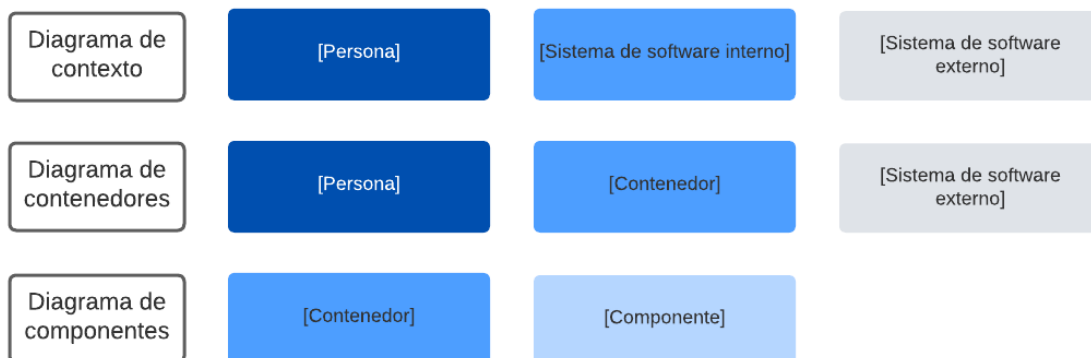
Los bloques (ver Figura 23) son los elementos funcionales o no funcionales que forman parte de nuestro sistema de software o del contexto de este. Primeramente, el bloque contiene su nombre, posteriormente que tipo de elemento del modelo C4 es y finalmente contiene una breve descripción de sus funcionalidades.

Figura 23 - Estructura de un bloque de los diagramas del modelo C4



Para mejor claridad entre los tipos de bloques es recomendable utilizar colores distintos como se muestra en la Figura 24. Es por lo que en el presente trabajo se utilizó el siguiente código.

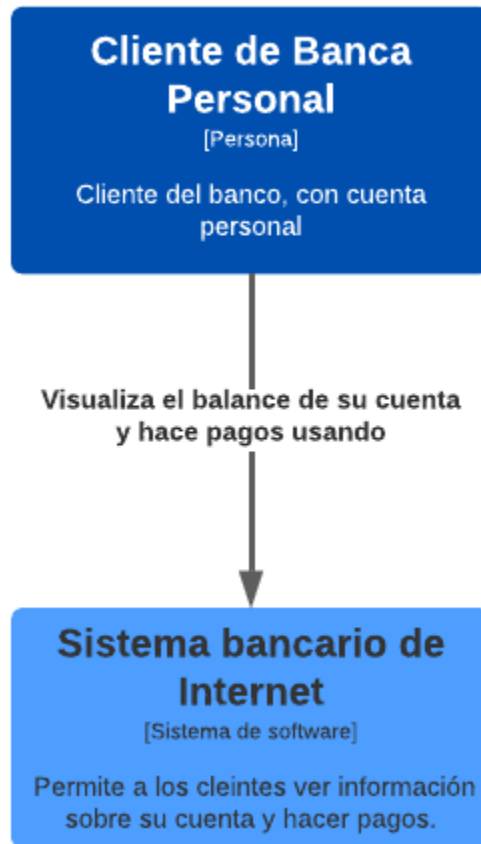
Figura 24 - Código de colores por tipo de diagrama notación modelo C4



#### 4.5.3.2 Interacciones

Las interacciones se denotan usando una flecha. Estas flechas, en lo posible, deben de apuntar hacia la misma dirección. Además, deben de indicar de que forma el elemento interactúa con otro. Un ejemplo de esto se muestra en la Figura 25.

Figura 25 - Ejemplo de flecha de interacción dentro de los diagramas del modelo C4



## 5 Resultados

### 5.1 Iteración 1

#### 5.1.1 Planificación

Esta iteración establece un punto de referencia, por lo cual se plasmará una arquitectura que provea las mismas funcionalidades de los sistemas de supervisión en línea comerciales.

#### 5.1.2 Desarrollo

##### 5.1.2.1 Contexto

La Figura 26 muestra el sistema propuesto en el contexto bajo el cual se utilizará. El evaluado será examinado usando una *Aplicación web*, misma que será usada para su supervisión. Para la supervisión del alumno la *Aplicación Web* enviara el *stream* de audio y video al *Procesador de streams* que se encargara de notificar a los contenedores de aprendizaje profundo para que estos a su vez notifiquen *Aplicación API* del etiquetado emitido. La *Aplicación web* se muestra como un sistema externo debido a que se propone el uso de un *Sistema para el Manejo del Aprendizaje*, en adelante LMS, por sus siglas del inglés de *Learning Management System*. El evaluador hará uso directo del 'sistema de supervisión' para dar seguimiento al alumno, durante y posterior a la evaluación.

Figura 26 - Diagrama Contexto Iteración 1



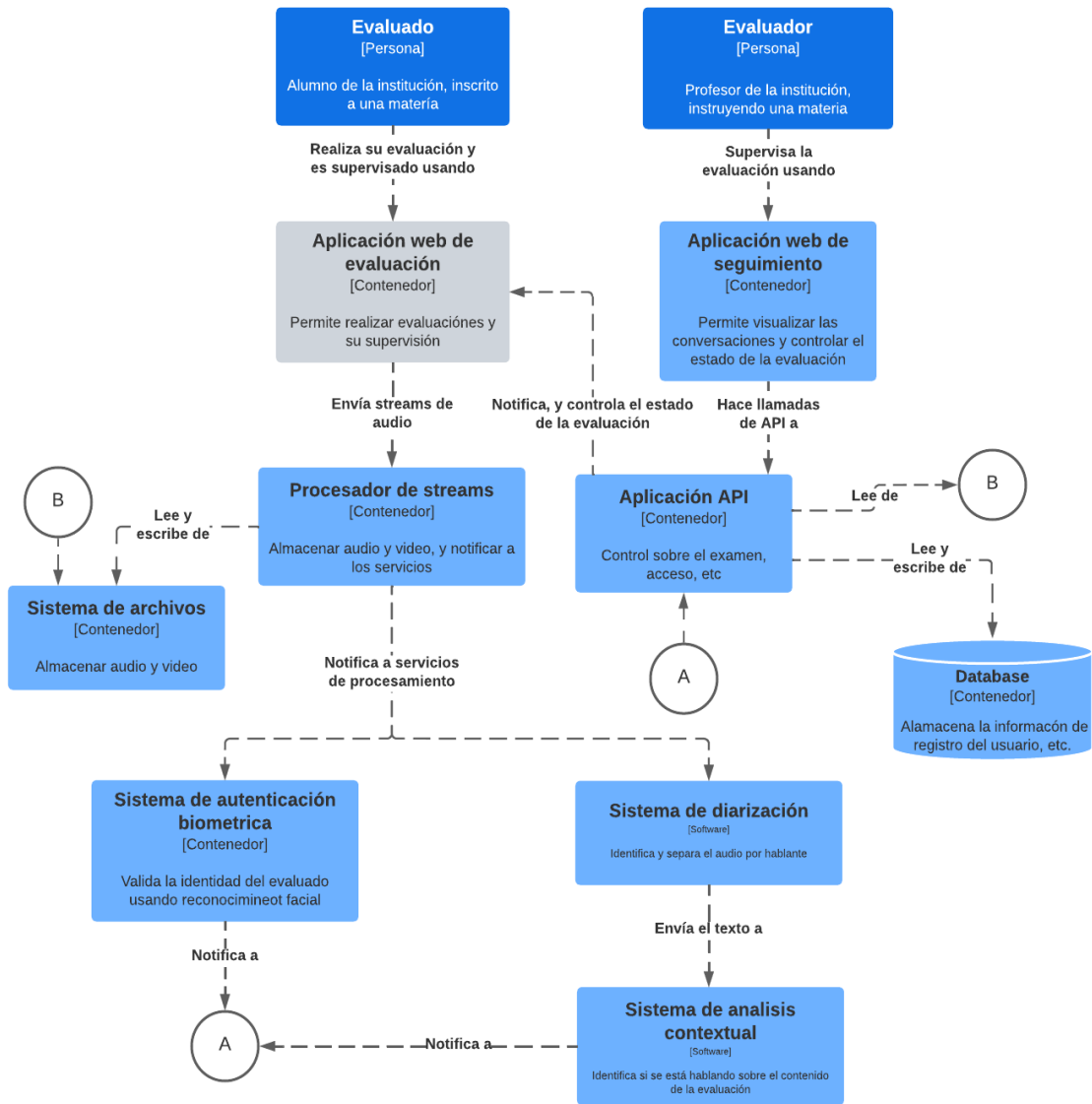
#### 5.1.2.2 Contenedores

La Figura 27 muestra los contenedores del sistema propuesto. Cabe mencionar que estos sistemas están limitados al campo de visión de la cámara web.

1. **Aplicación web para el seguimiento de las evaluaciones:** provee a los evaluadores con un resumen de las evaluaciones recientes o en curso, de control de su estado, historial y la habilidad de exportarlas como evidencia.
2. **Aplicación API:** provee la lógica para la funcionalidad provista por el punto 1 así como punto de control para los servicios de análisis.
3. **Procesador de streams:** se encarga de almacenar el audio y video, y notificar a los servicios de análisis.
4. **Sistema de autenticación biométrica continua mediante reconocimiento facial:** valida la identidad del evaluado usando reconocimiento facial.
5. **Sistema de detección de objetos no permitidos:** valida que no hallan objetos prohibidos.
6. **Sistema de detección del número de personas:** valida que solo haya una persona.

7. **Sistema de detección de posición de cabeza:** valida que el evaluado no tome posiciones asociadas con acciones reconocidas como ilícitas durante una evaluación (Ver 2.1 Acciones ilícitas durante una evaluación).

Figura 27 - Diagrama Contenedores Iteración 1



5.1.2.3 Requerimientos para los estudiantes

Tabla 4 - Requerimientos para los estudiantes Iteración 1

<b>Software</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Safe Exam Browser, en cumplimiento del requerimiento 4</li> </ul>
<b>Hardware</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al menos 10GB de almacenamiento</li> <li>• Memoria de 8GB</li> <li>• Cámara web con resolución 720p</li> <li>• Micrófono</li> </ul>
<b>Red</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10Mbps de bajada x 1Mbps de subida por persona</li> </ul>

### 5.1.3 Pruebas

Usando un *sistema de detección de objetos* es determinable el uso de objetos no permitidos dentro del campo de visión de la cámara web, el uso fuera de cámara de objetos no permitidos puede ser inferido haciendo uso un *sistema de detección de posición de cabeza* al definir métricas para determinar si el comportamiento (las veces que se recurre a ver fuera de la pantalla) del evaluado esta fuera de lo normal. Con lo anterior se detecta el uso de dispositivos móviles (Ver objetivo 3 Tabla 5 – Lista de comprobación Iteración 1) y el uso del material del curso en formato físico (Ver objetivo 4 Tabla 5 – Lista de comprobación Iteración 1).

Como método de autenticación (Ver objetivo 5 Tabla 5 – Lista de comprobación Iteración 1) la arquitectura propuesta integra un *sistema de reconocimiento facial continuo* se mantiene al evaluado (dentro del campo de la visión de la cámara web) autenticado.

Para obtener una tolerancia de navegación web de cero (Ver objetivo 6 Tabla 5 – Lista de comprobación Iteración 1) el Safe Exam Browser es un explorador web que nos permite limitar la movilidad del evaluado en su computador al realizar una evaluación.

La Generación de reporte de la actividad del estudiante durante la evaluación (Ver objetivo 7 Tabla 5 – Lista de comprobación Iteración 1) y Permitir el control remoto de la prueba al evaluador (Ver objetivo 8 Tabla 5 – Lista de comprobación Iteración 1) son requerimientos que la aplicación web para el seguimiento de las evaluaciones deberá cumplir.

Tabla 5 – Lista de comprobación Iteración 1

Objetivos	Solución
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de detección de objetos</li> <li>• Sistema de detección de posición de cabeza</li> </ul>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de detección de objetos</li> <li>• Sistema de detección de posición de cabeza</li> </ul>
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de autenticación biométrico</li> </ul>
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Safe Exam Browser</li> </ul>
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicación web para el seguimiento de las evaluaciones</li> </ul>
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicación web para el seguimiento de las evaluaciones</li> </ul>
9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No cumple</li> </ul>
10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No cumple</li> </ul>
11	No cumple

#### 5.1.4 Revisión

El sistema propuesto replica el estándar de la industria, obteniendo garantías similares, sin embargo, se ha probado que estos sistemas requieren de intervención humana constante, además de que hay una creciente resistencia a su uso debido a la invasión a la privacidad que conllevan estos sistemas. Está propuesta se toma como punto de referencia para las siguientes iteraciones.

## 5.2. Iteración 2

### 5.2.1 Planificación

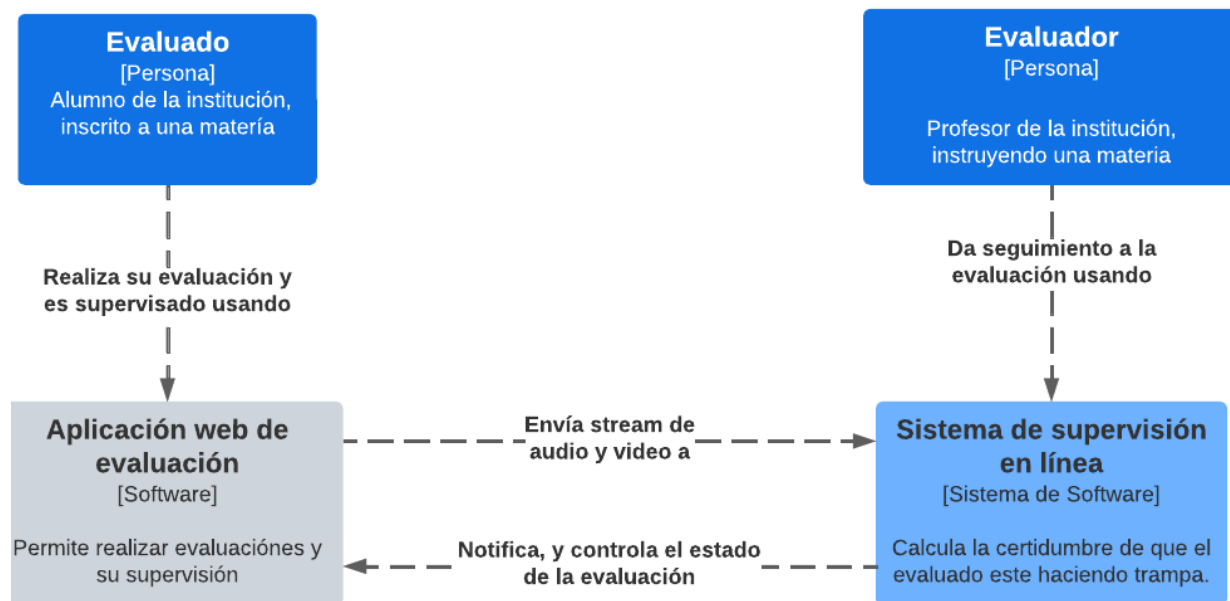
Se propone un sistema de supervisión en línea que integre sistemas de aprendizaje profundo adicionales a la arquitectura base (5.1 Iteración 1) para reducir la intervención humana.

## 5.2.2 Desarrollo

### 5.2.2.1 Contexto

La Figura 28 muestra el sistema propuesto en el contexto bajo el que se usará. El evaluado será examinado usando una *Aplicación web*, misma que será usada para su supervisión. Para la supervisión del alumno la *Aplicación Web* enviara el stream de audio y video al *Procesador de streams* que se encargara de notificar a los contenedores de aprendizaje profundo para que estos a su vez notifiquen a la *Aplicación API* del etiquetado emitido. La *Aplicación web* se muestra como un sistema externo debido a que se propone el uso de un LMS. El evaluador hará uso directo del *sistema de supervisión* para dar seguimiento del alumno, durante y posterior a la evaluación.

Figura 28 - Diagrama Contexto Iteración 2

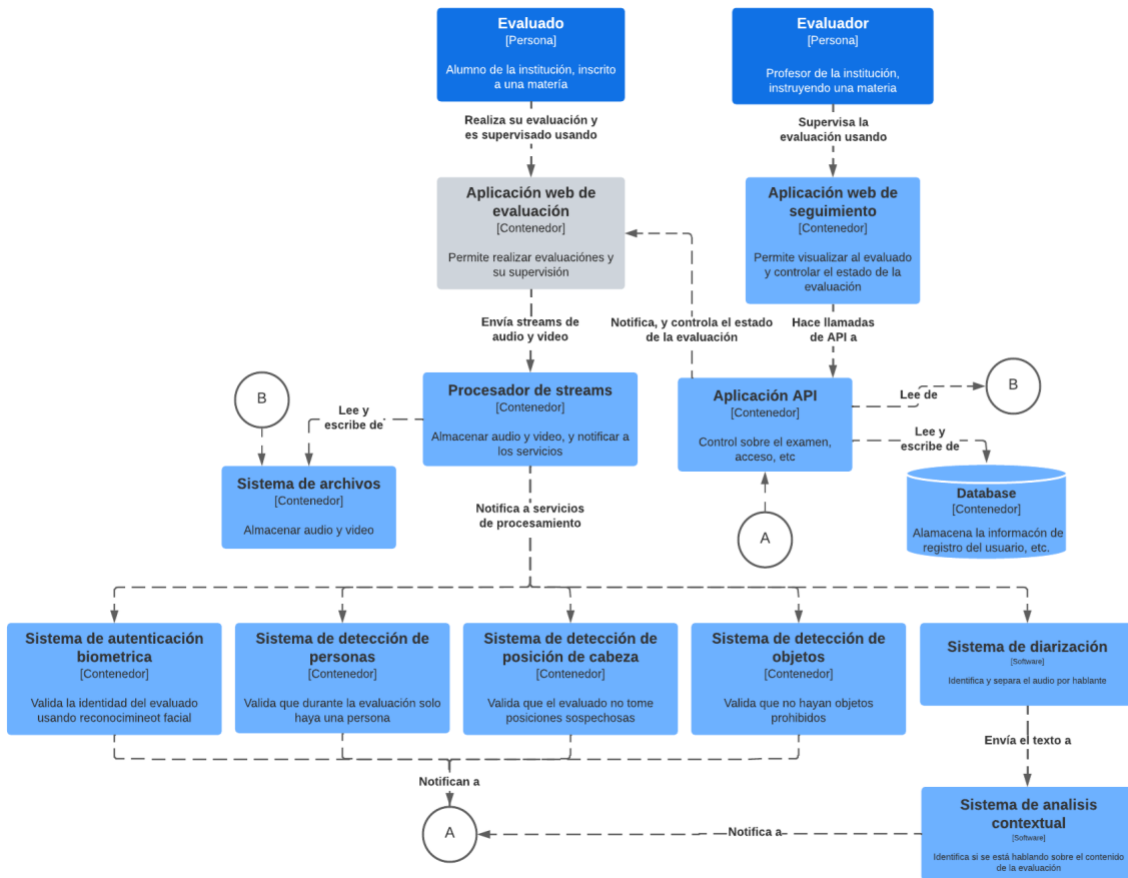


### 5.2.2.2 Contenedores

A continuación se describen los contenedores mostrados en la Figura 29 en el sistema propuesto.

1. **Aplicación web para el seguimiento de las evaluaciones:** provee a los evaluadores con un resumen de las evaluaciones recientes o en curso, de control de su estado, historial y la habilidad de exportarlas como evidencia.
2. **Aplicación API:** provee la lógica para la funcionalidad provista por el punto 1 así como punto de control para los servicios de análisis.
3. **Procesador de streams:** se encarga de almacenar el audio y video, y notificar a los servicios de análisis.
4. **Sistema de autenticación biométrica continua mediante reconocimiento facial:** valida la identidad del evaluado usando reconocimiento facial.
5. **Sistema de detección de objetos no permitidos:** valida que no hayan objetos prohibidos.
6. **Sistema de detección del número de personas:** valida que solo haya una persona.
7. **Sistema de detección de posición de cabeza:** valida que el evaluado no tome posiciones sospechosas.
8. **Sistema de diarización:** distingue los hablantes y convierte su discurso a texto.
9. **Sistema de análisis de lenguaje natural:** identifica si dentro del texto recolectado se encuentran temas relacionados a la evaluación.

Figura 29 - Diagrama Contenedores Iteración 2



### 5.2.2.3 Requerimientos para los estudiantes

Tabla 6 - Requerimientos para los estudiantes Iteración 2

<b>Software</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Safe Exam Browser, en cumplimiento del requerimiento 4</li> </ul>
<b>Hardware</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al menos 10GB de almacenamiento</li> <li>• Memoria de 8GB</li> <li>• Cámara web con resolución 720p</li> <li>• Micrófono</li> </ul>
<b>Red</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10Mbps de bajada x 1Mbps de subida por persona</li> </ul>

### 5.2.3 Pruebas

Haciendo uso de un “sistema de detección de objetos” es determinable el uso de objetos no permitidos dentro del campo de visión de la cámara web, el uso fuera de cámara de objetos no permitidos puede ser inferido haciendo uso un *sistema de detección de posición de cabeza* al definir métricas para determinar si el comportamiento (las veces que se recurre a ver fuera de la pantalla) del evaluado esta fuera de lo normal. Con lo anterior se detecta el uso de dispositivos móviles (Ver objetivo 3 Tabla 7 - Lista de comprobación Iteración 2) y el uso del material del curso en formato físico (Ver objetivo 4 Tabla 7 - Lista de comprobación Iteración 2).

Como método de autenticación (Ver objetivo 5 Tabla 7 - Lista de comprobación Iteración 2) la arquitectura propuesta integra un *sistema de reconocimiento facial continuo* se mantiene al evaluado autenticado (dentro del campo de la visión de la cámara web).

Para obtener una tolerancia de navegación web de cero (Ver objetivo 6 Tabla 7 - Lista de comprobación Iteración 2) el Safe Exam Browser es un explorador web que permite limitar la movilidad del evaluado en su computador al realizar una evaluación.

La Generación de reporte de la actividad del estudiante durante la evaluación (Ver objetivo 7 Tabla 7 - Lista de comprobación Iteración 2) y Permitir el control remoto de la prueba al evaluador (Ver objetivo 8 Tabla 7 - Lista de comprobación Iteración 2) son requerimientos que la aplicación web para el seguimiento de las evaluaciones deberá cumplir.

Tabla 7 - Lista de comprobación Iteración 2

<b>Objetivos</b>	<b>Solución</b>
3	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sistema de detección de objetos</li><li>• Sistema de detección de posición de cabeza</li></ul>
4	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sistema de detección de objetos</li><li>• Sistema de detección de posición de cabeza</li></ul>
5	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sistema de autenticación biométrico</li></ul>
6	<ul style="list-style-type: none"><li>• Safe Exam Browser</li></ul>
7	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aplicación web para el seguimiento de las evaluaciones</li></ul>
8	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aplicación web para el seguimiento de las evaluaciones</li></ul>

9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No cumple</li> </ul>
10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No cumple</li> </ul>
11	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No cumple</li> </ul>

#### 5.2.4 Revisión

Al tener múltiples fuentes de supervisión del evaluado, el sistema tiene una mayor certeza sobre sus acciones con lo que se logra: mitigar falsos positivos, detección de acciones que no eran detectadas en la iteración anterior, además de reducir la intervención humana en el proceso de validación de los reportes por el sistema. Desafortunadamente, con el incremento en las fuentes de supervisión sobre el alumno también se incrementa: la invasión a su privacidad, la capacidad de cómputo necesaria por parte del evaluado e incluso la necesidad de hardware especializado. Por parte de la institución también incrementaran los recursos necesarios para la ejecución del sistema, tiempo de desarrollo y costos en general dado que se trata de un sistema más complejo, es decir, con tecnologías que necesitan recursos específicos.

### 5.3 Iteración 3

#### 5.3.1 Planificación

En esta iteración se buscará un sistema que reduzca: la invasión a la privacidad del evaluado, el consumo de recursos de red y el número de contenedores necesarios.

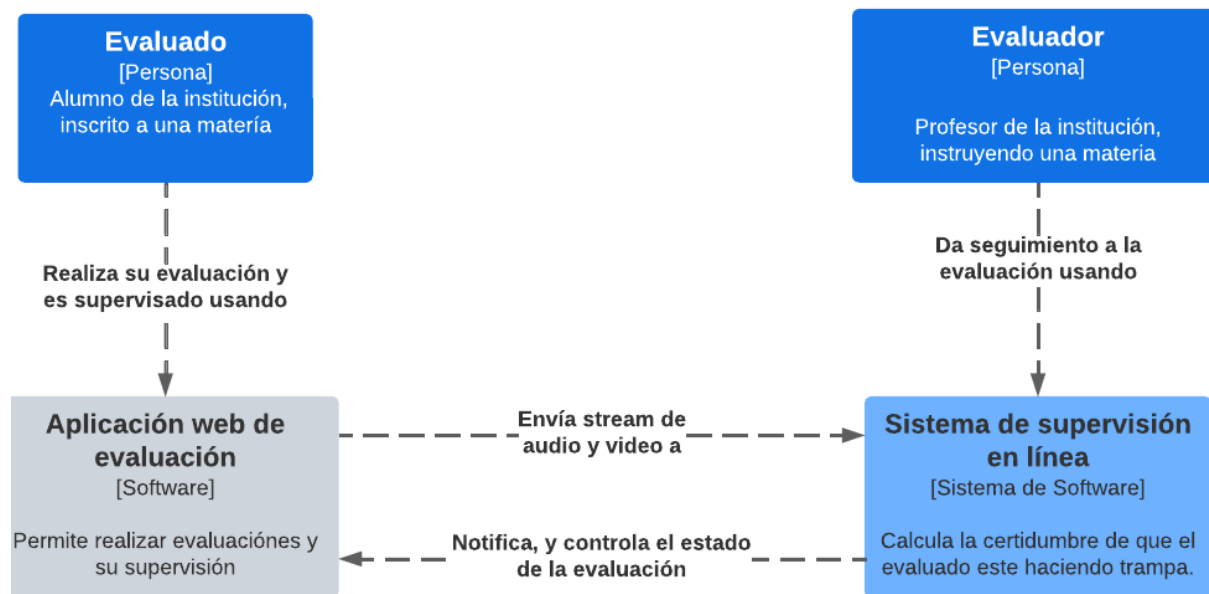
#### 5.3.2 Desarrollo

##### 5.3.2.1 Contexto

La Figura 30 muestra el sistema propuesto en el contexto bajo el cual va a ser utilizado. El evaluado será examinado usando una *Aplicación web*, misma que será usada para su supervisión. Para la supervisión del alumno la *Aplicación Web* enviara el stream de video al *Procesador de streams* que se encargara de notificar a los contenedores de aprendizaje profundo para que estos a su vez notifiquen a la *Aplicación API* del etiquetado emitido; para evitar que las respuestas se le sean proporcionadas por otro individuo o sean obtenidas usando el material del curso, la evaluación es generada de

forma aleatoria usando un banco de preguntas las que tendrán un tiempo fijo para ser contestadas. La *Aplicación web* se muestra como un sistema externo debido a que se propone el uso de un LMS. El evaluador hará uso directo del *sistema de supervisión* para dar seguimiento del alumno, durante y posterior a la evaluación.

Figura 30 - Diagrama Contexto Iteración 3



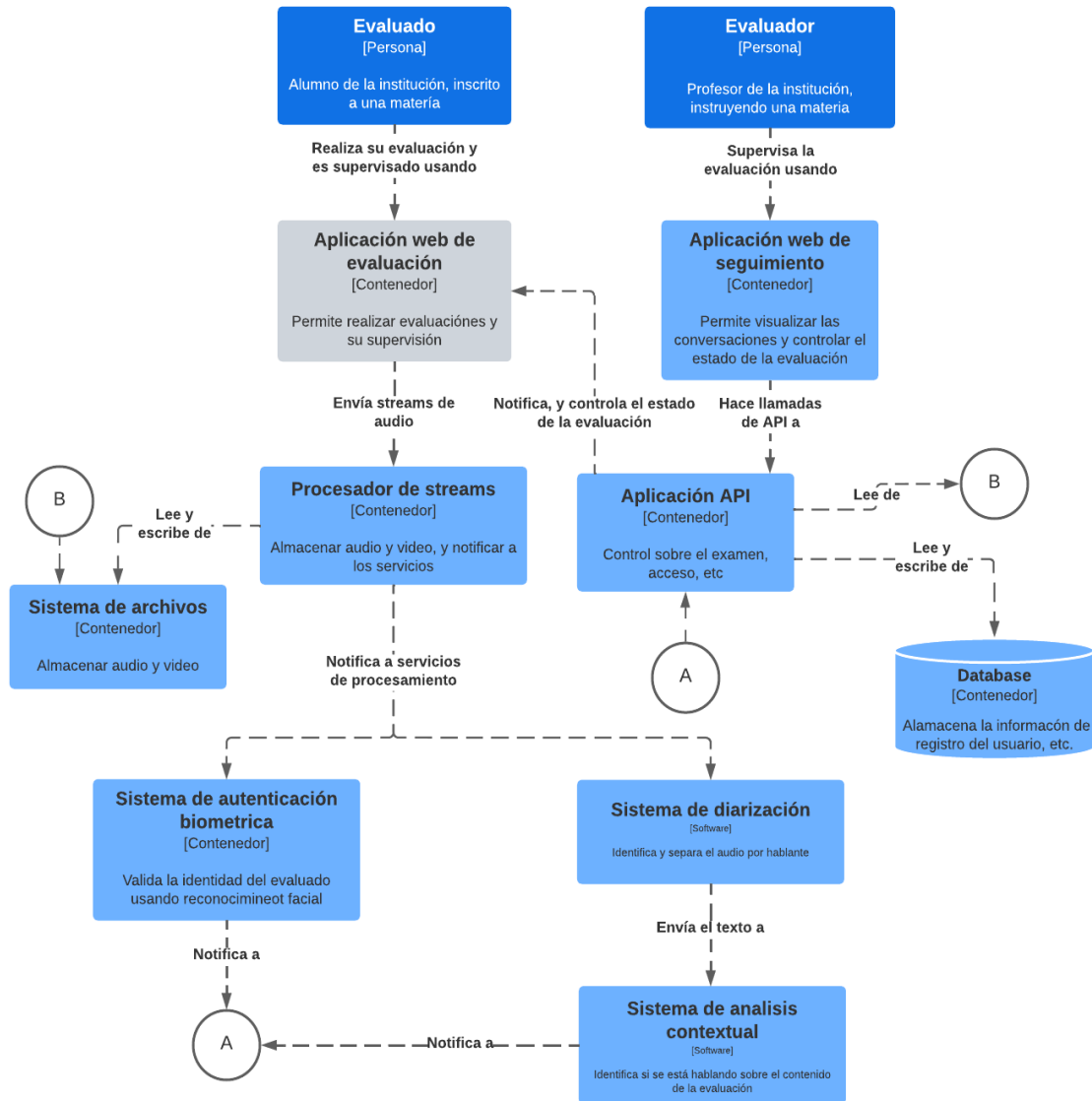
### 5.3.2.2 Contenedores

A continuación se describen los contenedores **mostrados** en la Figura 31 del sistema propuesto.

1. **Aplicación web para el seguimiento de las evaluaciones:** provee a los evaluadores con un resumen de las evaluaciones recientes o en curso, de control de su estado, historial y la habilidad de exportarlas como evidencia.
2. **Aplicación API:** provee la lógica para la funcionalidad provista por el punto 1 así como punto de control para los servicios de análisis.
3. **Procesador de streams:** se encarga de almacenar el audio y video, y notificar a los servicios de análisis.
4. **Autenticación biométrica continua mediante dinámicas de teclado:** valida la identidad del evaluado usando dinámicas de teclado.

5. **Discurso a texto con diarización:** distingue los hablantes y convierte su discurso a texto.
6. **Sistema de análisis de lenguaje natural:** identifica si dentro del texto recolectado se encuentran temas relacionados a la evaluación

Figura 31 - Diagrama Contenedores Iteración 3



#### 5.3.2.4 Requerimientos para los estudiantes

Tabla 8 - Requerimientos para los estudiantes Iteración 3

<b>Software</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Safe Exam Browser, en cumplimiento del requerimiento 4</li></ul>
<b>Hardware</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Al menos 10GB de almacenamiento</li><li>• Memoria de 8GB</li><li>• Micrófono</li></ul>
<b>Red</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Menor a 10Mbps de bajada x 1Mbps de subida por persona al no hacer streaming de video.</li></ul>

#### 5.3.2.5 Consideraciones adicionales

En cumplimiento con requisito 1 y 2 en esta iteración consideran las siguientes funcionalidades como parte del sistema [30]:

- Banco de preguntas
- Examen con preguntas aleatorias
- Tiempo limitado para la resolución de las preguntas

#### 5.3.4 Pruebas

Al integrar al sistema las consideraciones mencionadas en el punto 5.3.2.5 se obtiene [30]:

- **Flexibilidad:** ya que se puede importar un examen desde un archivo CSV que según los profesores que utilizaron el prototipo, ahorra mucho tiempo en la creación de un examen.
- **Confiabilidad,** dado que la versión liberada del software está libre de errores y
- **Usabilidad:** todos los usuarios que usaron el prototipo aseguran que los pasos son fáciles de seguir y recordad.
- **Eficiencia,** el sistema funciona y da retroalimentación inmediata en la evaluación de los examinadores.

Con lo anterior limitando el alcance del uso de dispositivos móviles (Ver objetivo 3 Tabla 9 - Lista de comprobación Iteración 3) y el uso del material del curso (Ver objetivo 4 - Tabla 9 - Lista de comprobación Iteración 3).

Como método de autenticación (Ver objetivo 5 Tabla 9 - Lista de comprobación Iteración 3) la arquitectura propuesta integra un *sistema de dinámicas de teclado* manteniendo al evaluado autenticado mediante el uso del teclado.

Para obtener una tolerancia de navegación web de cero (Ver objetivo 6 Tabla 9 - Lista de comprobación Iteración 3) el Safe Exam Browser es un explorador web que permite limitar la movilidad del evaluado en su computador al realizar una evaluación.

La Generación de reporte de la actividad del estudiante durante la evaluación (Ver objetivo 7 Tabla 9 - Lista de comprobación Iteración 3) y Permitir el control remoto de la prueba al evaluador (Ver objetivo 8 Tabla 9 - Lista de comprobación Iteración 3) son requerimientos que la aplicación web para el seguimiento de las evaluaciones deberá cumplir.

La arquitectura propuesta reduce el consumo de ancho de banda (Ver objetivo 11 Tabla 9 - Lista de comprobación Iteración 3) al eliminar los sub-sistemas que requieren de video, esto a su vez, abre la oportunidad de hacer uso de este sistema de supervisión en línea en dispositivos móviles (Ver objetivo 10 Tabla 9 - Lista de comprobación Iteración 3).

*Tabla 9 - Lista de comprobación Iteración 3*

<b>Objetivos</b>	<b>Solución</b>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo limitado para la resolución de las preguntas</li> </ul>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo limitado para la resolución de las preguntas</li> </ul>
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dinámicas de teclado</li> </ul>
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Safe Exam Browser – Escritorio</li> <li>• Aplicación móvil – Teléfono inteligente</li> </ul>
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicación web para el seguimiento de las evaluaciones</li> </ul>
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicación web para el seguimiento de las evaluaciones</li> </ul>
9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No cumple al requerir del streaming de audio</li> </ul>

10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es posible hacer uso de este sistema utilizando teléfonos inteligentes.</li> </ul>
11	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor a 10Mbps de bajada x 1Mbps de subida por persona al no hacer streaming de video.</li> </ul>

### 5.3.5 Revisión

Al eliminar la necesidad del stream de video, está propuesta exitosamente reduce el consumo del ancho de banda, disminuye la invasión a la privacidad del alumno y reduce en complejidad al requerir de un menor número de contenedores de sistemas de aprendizaje profundo.

## 5.4 Iteración 4

### 5.4.1 Planificación

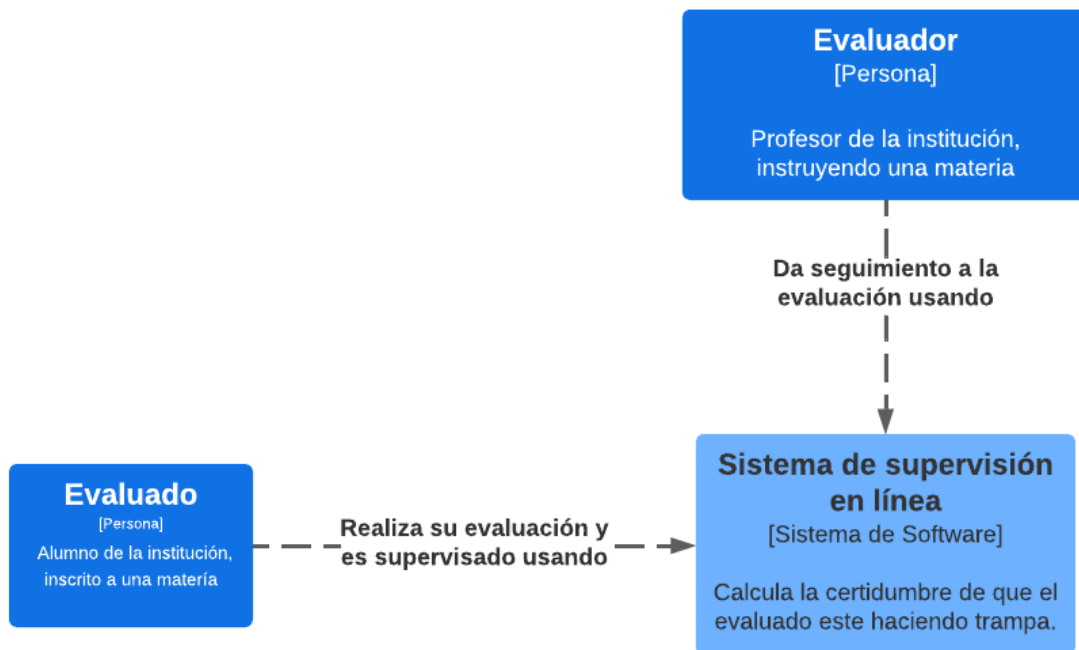
Se propone un sistema que se hace uso del principal dispositivo de cómputo disponible por la comunidad estudiantil en México, el teléfono inteligente. Además de que no haya invasión a la privacidad del evaluado.

### 5.4.2 Desarrollo

#### 5.4.2.1 Contexto

La Figura 32 muestra el sistema propuesto en el contexto bajo el cual va a ser utilizado. El evaluado será examinado con una *Aplicación móvil* usando un visor de realidad virtual. Para control de la visión del evaluado se introdujo el visor, para evitar que las respuestas se le sean proporcionadas por otro individuo la evaluación es generada de forma aleatoria usando un banco de preguntas las que tendrán un tiempo fijo para ser contestadas. El evaluador hará uso directo del sistema de supervisión para dar seguimiento del alumno, durante y posterior a la evaluación.

Figura 32 - Diagrama Contexto Iteración 4

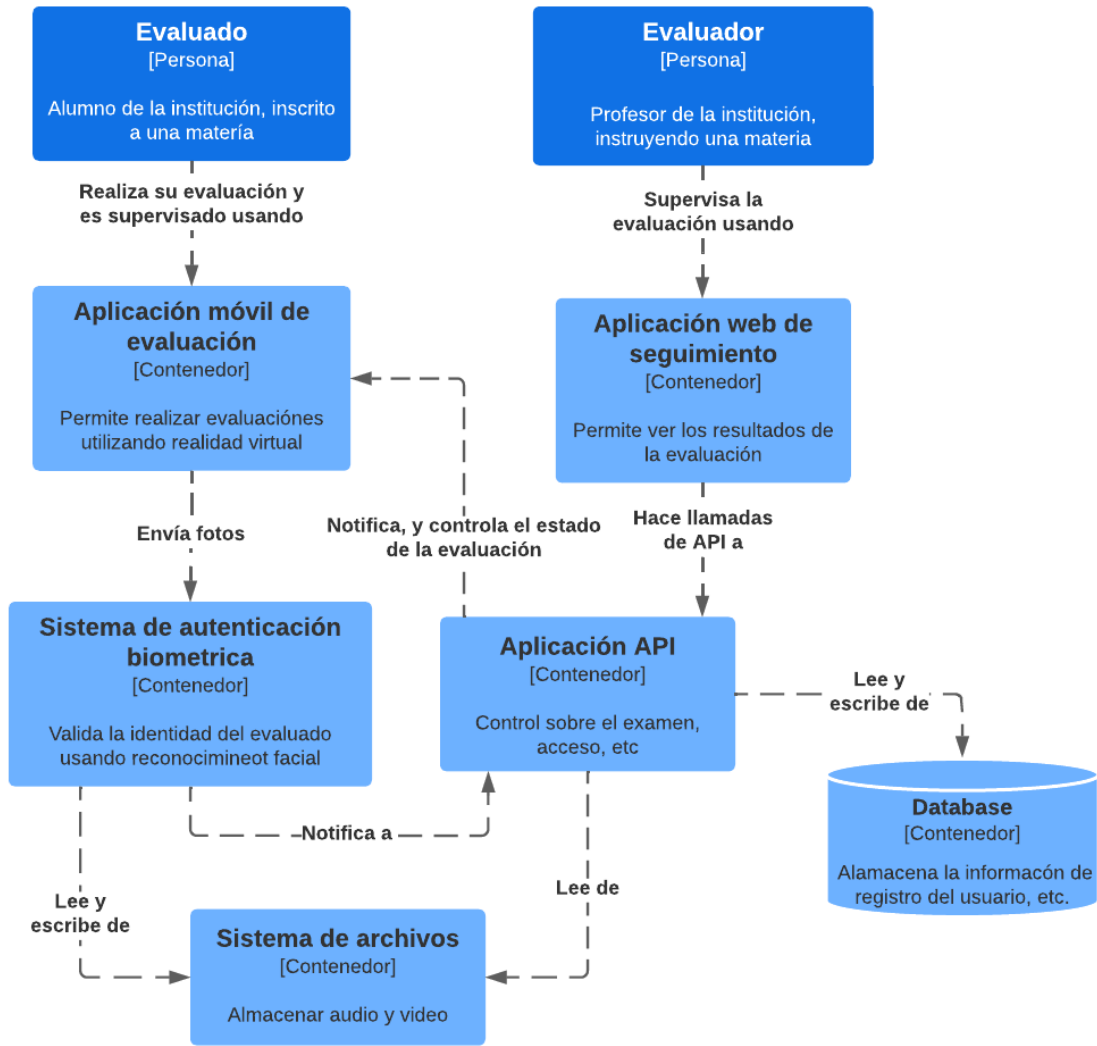


#### 5.4.2.2 Contenedores

A continuación, se describen los contenedores del sistema propuesto en la Figura 33.

1. **Aplicación web para el seguimiento de las evaluaciones:** provee a los evaluadores con un resumen de las evaluaciones recientes o en curso, de control de su estado, historial y la habilidad de exportarlas como evidencia.
2. **Aplicación API:** provee la lógica para la funcionalidad provista por el punto 1 así como punto de control para los servicios de análisis.
3. **Autenticación biométrica mediante reconocimiento facial:** valida la identidad del evaluado usando reconocimiento facial.
4. **Aplicación móvil de realidad virtual:** está aplicación será usada para realizar evaluaciones mediante realidad virtual.

Figura 33 - Diagrama Contenedores Iteración 4



#### 5.4.2.3 Requerimientos para los estudiantes

Tabla 10 - Requerimientos para los estudiantes Iteración 4

<b>Software</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicación móvil de realidad virtual, en cumplimiento del requerimiento 4</li> </ul>
<b>Hardware</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Smartphone</li> <li>• Visor de realidad virtual de bajo costo. (Google Cardboard)</li> </ul>

#### 5.4.2.4 Consideraciones adicionales

En cumplimiento con requisito 1 y 2 en esta iteración se consideran las siguientes funcionalidades como parte del sistema [30]:

- Banco de preguntas
- Examen con preguntas aleatorias
- Tiempo limitado para la resolución de las preguntas
- Rotación y desplazamiento del dispositivo para detectar si se está pasando a otro individuo

#### 5.4.3 Pruebas

Al integrar al sistema las consideraciones mencionadas en el punto 5.3.2.5 se obtiene [30]:

- **Flexibilidad:** ya que se puede importar un examen desde un archivo CSV que según los profesores que utilizaron el prototipo, ahorra mucho tiempo en la creación de un examen.
- **Confiablez,** dado que la versión liberada del software está libre de errores y
- **Usabilidad:** todos los usuarios que usaron el prototipo aseguran que los pasos son fáciles de seguir y recordad.
- **Eficiencia,** el sistema funciona y da retroalimentación inmediata en la evaluación de los examinadores.

Con lo anterior limitando el alcance del uso de dispositivos móviles (Ver objetivo 3 Tabla 11 – Lista de comprobación Iteración 4) y el uso del material del curso (Ver objetivo 4 Tabla 11 – Lista de comprobación Iteración 4). Adicionalmente al ser el teléfono inteligente (Ver objetivo 10 Tabla 11 – Lista de comprobación Iteración 4) usado para realizar la prueba en conjunto con un visor de realidad virtual y la aplicación móvil esté no puede ser utilizado para otra cosa durante la evaluación. El visor de realidad virtual también limita la visión del evaluado a únicamente lo mostrado por el dispositivo móvil. Como método de autenticación (Ver objetivo 5 Tabla 11 – Lista de comprobación Iteración 4) la arquitectura propuesta integra un “sistema de reconocimiento facial” requiriendo que el evaluado haga uso de la cámara frontal del dispositivo móvil para identificarse para iniciar su evaluación.

Para obtener una tolerancia de navegación web de cero (Ver objetivo 6 Tabla 11 – Lista de comprobación Iteración 4) el Safe Exam Browser es un explorador web que nos permite limitar la movilidad del evaluado en su computador al realizar una evaluación.

La Generación de reporte de la actividad del estudiante durante la evaluación (Ver objetivo 7 Tabla 11 – Lista de comprobación Iteración 4) y Permitir el control remoto de la prueba al evaluador (Ver objetivo 8 Tabla 11 – Lista de comprobación Iteración 4) son requerimientos que la aplicación web para el seguimiento de las evaluaciones deberá cumplir.

La arquitectura propuesta reduce el consumo de ancho de banda (Ver objetivo 11 Tabla 11 – Lista de comprobación Iteración 4) al eliminar los sub-sistemas que requieren de video y audio.

*Tabla 11 – Lista de comprobación Iteración 4*

<b>Objetivos</b>	<b>Solución</b>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Visor de realidad virtual</li> <li>• Aplicación móvil</li> <li>• Tiempo limitado para la resolución de las preguntas</li> </ul>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Visor de realidad virtual</li> <li>• Tiempo limitado para la resolución de las preguntas</li> </ul>
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de reconocimiento facial</li> </ul>
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicación móvil</li> </ul>
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicación web para el seguimiento de las evaluaciones</li> </ul>
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicación web para el seguimiento de las evaluaciones</li> </ul>
9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lo logra al no requerir de un stream constante de audio o video durante la evaluación</li> </ul>
10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliza el teléfono inteligente como dispositivo de realidad virtual</li> </ul>
11	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor a 10Mbps de bajada x 1Mbps de subida por persona al no hacer streaming de ningún tipo</li> </ul>

#### 5.4.4 Revisión

Para este sistema se propone un cambio de paradigma, el control de la visión en vez de su monitoreo. Con esto se logró que únicamente se requiera un sistema de aprendizaje profundo para la autenticación biométrica fácil del evaluado previo a la evaluación. Además, se lograron reducciones en: el número de contenedores y consumo del ancho de banda, preservando la integridad de la evaluación.

## 6 Conclusiones y Trabajo a futuro

### 6.1 Conclusiones

En primer lugar, se realizó una taxonomía de los diferentes trabajos de investigación y sistemas comerciales, brindando una base para otros investigadores enfocados en esta línea de investigación de la supervisión en línea.

En segundo lugar, se aporta la aplicación de conocimientos de la industria con el uso de las metodologías:

- Metodología ágil como 4.3 Flujo de trabajo
- Pruebas estáticas como 4.3.3 Pruebas para validar las iteraciones
- Modelo C4 como 4.5 Metodología de diseño

En tercer lugar, se observó **todo el espectro de todas** las tecnologías disponibles, no solo los de inteligencia artificial, lo que permitió innovar con la propuesta de la diarización, la realidad virtual y las dinámicas de teclado como alternativas para monitoreo y control como parte de un sistema de supervisión en línea, tecnologías que no habían sido consideradas previamente según el estado del arte.

En cuarto lugar, se cumple el objetivo específico 1 “*Diseñar y analizar arquitecturas mediante una serie de iteraciones para proponer* ” con el diseño de las cuatro arquitecturas correspondientes a las iteraciones 1-4.

En quinto lugar, se logró el *objetivo específico 2 - Comparativa de las arquitecturas propuestas* Mediante las comparaciones entre las arquitecturas en la sección *Revisión* de cada iteración.

En sexto lugar, se corrobora el cumplimiento de los objetivos específicos “3– 10”, a través de las revisiones estáticas, por medio de listas de comprobación para confirmar que cada arquitectura diseñada por iteración es una solución potencial que brinda alternativas para instituciones con distintos recursos de la siguiente manera:

- *Arquitectura de la iteración 1*, como solución de propósito general;
- *Arquitectura de la iteración 2*, para instituciones con más recursos y con un acuerdo de privacidad con sus alumnos;
- *Arquitectura de la iteración 3*, para instituciones con pocos recursos, acuerdo de privacidad con sus alumnos y que busquen el monitoreo del ambiente del alumno;
- Finalmente, la *arquitectura de la iteración 4*, para instituciones con escasos recursos, en donde la población estudiantil principalmente cuente con teléfonos inteligentes.

Finalmente se considera que el diseño, revisión y análisis de las iteraciones fue exitoso ya que se obtuvo un diseño que cumple con todos los objetivos específicos y que además coadyuva a que las instituciones públicas de educación superior tengan acceso a un sistema de supervisión en línea de bajo costo.

## 6.2 Trabajo a futuro

Como trabajo a futuro se buscará la implementación de las iteraciones tres y cuatro como proyecto de código libre disponible para alojar por instituciones de educación superior, así como una encuesta de aceptación entre la comunidad académica y estudiantil, para posteriormente refinar los sistemas en base a estas.

Para la implementación habrá que tener en cuenta las siguientes recomendaciones y consideraciones.

### Recomendaciones

- Para la revisión de evaluaciones, un flujo de trabajo de tenientes y dictador, con el propósito de reducir el contenido a revisar por el profesorado.
- Desarrollo de código abierto con el objetivo de reducir costos de desarrollo.

### Consideraciones para la institución

*Tabla 12 - Consideraciones para la institución*

<b>Humanos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Personal para la operación del sistema</li> <li>• Personal para validación de los eventos marcados como maliciosos por el sistema</li> </ul>
----------------	---

<b>Hardware</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Presupuesto para la adquisición y mantenimiento de servidor</li></ul>
<b>Software</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Presupuesto para de desarrollo</li></ul>

## 7 Referencias

1. System with Cheating Prevention Using Question Bank Randomization and Tab Locking. 2019 4th International Conference on Information Technology (InCIT), 126–131. <https://doi.org/10.1109/INCIT.2019.8912065>
2. How Much Internet Speed Do I Need to Work de Home. (2021, agosto 2). HighSpeedInternet.Com. <https://www.highspeedinternet.com/resources/how-much-internet-speed-to-work-de-home>
3. Hussein, M. J., Yusuf, J., Deb, A. S., Fong, L., & Naidu, S. (s/f). An evaluation of online proctoring tools. Open Praxis, 12(4), 509–525. <https://doi.org/10.3316/informit.620366163696963>
4. INEGI presenta resultados de la Encuesta para la Medición del Impacto COVID-19 en la Educación (ECOVID-ED) 2020. (2021). 29.
5. Kharbat, F. F., & Abu Daabes, A. S. (2021). E-proctored exams during the COVID-19 pandemic: A close understanding. Education and Information Technologies, 26(6), 6589–6605. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10458-7>
6. Nigam, A., Pasricha, R., Singh, T., & Churi, P. (2021). A Systematic Review on AI-based Proctoring Systems: Past, Present and Future. Education and Information Technologies, 26(5), 6421–6445. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10597-x>
7. Número de habitantes. Cuéntame de México. (s/f). Recuperado el 1 de mayo de 2022, de <https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/habitantes.aspx>
8. Purohit, H., & Ajmera, P. K. (2022). Multi-modal biometric fusion based continuous user authentication for E-proctoring using hybrid LCNN-Salp swarm optimization. Cluster Computing, 25(2), 827–846. <https://doi.org/10.1007/s10586-021-03450-w>
9. Ramírez, M. L., & Cordero, P. X. E. (2021). Caracterización de estudiantes en distintos tipos de instituciones de educación superior en México. Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (México), LI(3), 71–96.
10. Research on Abnormal Behavior Detection of Online Examination Based on Image Information | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore. (s/f). Recuperado el 19 de marzo de 2022, de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8530188>

11. Safe Exam Browser—About. (s/f). Recuperado el 2 de abril de 2022, de [https://safeexambrowser.org/about\\_overview\\_en.html](https://safeexambrowser.org/about_overview_en.html)
12. Sala de prensa. (s/f). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI. Recuperado el 18 de abril de 2022, de <https://www.inegi.org.mx/app/saladeprensa/noticia.html?id=6606>
13. Schmelkes, S. (2020). La educación superior ante la pandemia de la Covid-19: El caso de México. *Universidades*, 71(86), 73–87. <https://doi.org/10.36888/udual.universidades.2020.86.407>
14. Speedtest Global Index – Internet Speed around the world. (s/f). Speedtest Global Index. Recuperado el 7 de mayo de 2022, de <https://www.speedtest.net/global-index>
15. UNESCO. (19 de octubre de 2020). Por qué el reforzamiento del aprendizaje y la protección de la financiación de la educación constituyen una urgencia a escala mundial. UNESCO. Recuperado el 10 de septiembre de 2022 de <https://es.unesco.org/news/que-reforzamiento-del-aprendizaje-y-proteccion-financiacion-educacion-constituyen-urgencia>
16. UNESCO. (2021). Interrupción y respuesta educativa. UNESCO. Recuperado el 10 de septiembre de 2022, de <https://es.unesco.org/covid19/educationresponse>
17. Dick, M., Sheard, J., Bareiss, C., Carter, J., Joyce, D., Harding, T., & Laxer, C. (2002). Addressing student cheating: Definitions and solutions. Working Group Reports de ITiCSE on Innovation and Technology in Computer Science Education, 172–184. <https://doi.org/10.1145/960568.783000>
18. Aws. (2022). ¿Qué es el reconocimiento facial?. Recuperado 10 Octubre, 2022, de <https://aws.amazon.com/es/what-is/facial-recognition/>
19. Ibm corporation. (2021). El modelo de redes neuronales. Recuperado el 11 julio, 2021, de <https://www.ibm.com/docs/es/spss-modeler/SaaS?topic=networks-neural-model>
20. Rafael zambrano. (2019, 13 octubre). Diferencias entre Machine Learning y Deep Learning. [Weblog]. Recuperado el 1° de junio 2021, de <https://openwebinars.net/blog/diferencias-entre-machine-learning-y-deep-learning/>

21. Aws. (2022). ¿Qué es la conversión de voz a texto?. Recuperado 10 Octubre, 2022, de <https://aws.amazon.com/es/what-is/speech-to-text/#:~:text=La%20conversi%C3%B3n%20de%20voz%20a%20texto%20es%20un%20software%20de,reconocimiento%20de%20voz%20por%20ordenador.>
22. Miguel sotaquirá. (2020). Detección de Rostros con Machine Learning. Recuperado 10 Octubre, 2022, de <https://www.codificandobits.com/blog/deteccion-de-rostros-machine-learning/>
23. Salesforce. (2022). SaaS: ¿Qué es Software as a Service? Recuperado 10 octubre, 2022, de <https://www.salesforce.com/mx/saas/>
24. Pablo ramírez hereza. (2017). Diarización de locutores en señales de audio de radiotelevisión. Recuperado 10 octubre, 2022, de <http://hdl.handle.net/10486/679364>
25. Keepcoding. (2022, 20 de enero). ¿Qué son los Datasets? [4 sitios donde encontrarlos]. [Weblog]. Recuperado 12 octubre 2022, de <https://keepcoding.io/blog/que-son-datasets/>
26. Limón, M. (2020). La Rebeldía. México: Valora Consultoría. Recuperado de: <https://valora.com.mx/author/miguel/>
27. Dinámica de tecleo. (2021). Wikipedia. Recuperado 9 octubre, 2022, de [https://es.wikipedia.org/wiki/Din%C3%A1mica\\_de\\_tecleo?oldformat=true](https://es.wikipedia.org/wiki/Din%C3%A1mica_de_tecleo?oldformat=true)
28. Google. (NA). ¿Qué es el procesamiento del lenguaje natural? Recuperado 9 octubre, 2022, de <https://cloud.google.com/learn/what-is-natural-language-processing?hl=es>
29. Realidad virtual. (2022). Wikipedia. Recuperado 9 octubre, 2022, de [https://es.wikipedia.org/wiki/Realidad\\_virtual?oldformat=true](https://es.wikipedia.org/wiki/Realidad_virtual?oldformat=true)
30. Chua, S. S., Bondad, J. B., Lumapas, Z. R., & Garcia, J. D. (2019). Online Examination System with Cheating Prevention Using Question Bank Randomization and Tab Locking.
31. Pandey, A. K., Kumar, S., Rajendran, B., & Bindhumadhava, B. S. (2020, November). E-parakh: Unsupervised online examination system. In 2020 IEEE region 10 conference (TENCON) (pp. 667-671). IEEE.

32. Meazure learning. (2022). ProctorU Proctoring Platform. Recuperado 11 octubre, 2022, de <https://www.meazurelearning.com/products/proctoru-online-proctoring>
33. Smowl. (NA). Proctoring Software. Recuperado 10 octubre, 2022, de <https://smowl.net/en/proctoring-products/>
34. Proctorio. (NA). Online Proctoring. Recuperado 10 octubre, 2022, de <https://proctorio.com/products/online-proctoring>
35. Detección de objetos. (2017). Wikipedia. Recuperado 10 octubre, 2022, de [https://es.wikipedia.org/wiki/Detecci%C3%B3n\\_de\\_objetos](https://es.wikipedia.org/wiki/Detecci%C3%B3n_de_objetos)
36. Onespan. (NA). Autenticación biométrica. Recuperado 10 octubre, 2022, de <https://www.onespan.com/es/topics/autenticacion-biometrica>
37. Seguimiento de ojos. (2021). Wikipedia. Recuperado 10 octubre, 2022, de [https://es.wikipedia.org/wiki/Seguimiento\\_de\\_ojos?oldformat=true](https://es.wikipedia.org/wiki/Seguimiento_de_ojos?oldformat=true)
38. Satyabrata jena. (2021, 27 Octubre). Types of Software Architecture Patterns. [Weblog]. Recuperado 3 noviembre 2022, de <https://www.geeksforgeeks.org/types-of-software-architecture-patterns/>
39. Carnegie mellon university. (2022). Software Architecture. Recuperado 3 noviembre, 2022, de <https://www.sei.cmu.edu/our-work/software-architecture/>
40. Brian Hambling. (2019). Software Testing: An ISTQB-BCS Certified Tester Foundation guide. (4ta ed.). Reino Unido: BCS, The Chartered Institute for IT.
41. Simon brown. (2022). The C4 model for visualising software architecture. Recuperado 7 noviembre, 2022, de <https://c4model.com/>
42. Inno q. (n.p.). Machine Learning Operations. Recuperado 26 November, 2022, de <https://ml-ops.org/>
43. Richards, M.A.R.K. (2020). Microservices Architecture. In Guzikowzki, C (Ed), Fundamental of Software Architecture (pp. 274-296). United States of America: O'Reilly.