



# Uso de técnicas de visión por computadora para mejorar la precisión de un sistema autónomo de checkout

Autor:

Ing. Rodrigo Pazos

Director:

Ing. Maxim Dorogov (FIUBA)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos entre el 20 de junio de 2023 y el 15 de agosto de 2023.*

## Índice

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar . . . . .	5
2. Identificación y análisis de los interesados . . . . .	6
3. Propósito del proyecto . . . . .	7
4. Alcance del proyecto . . . . .	7
5. Supuestos del proyecto. . . . .	7
6. Requerimientos . . . . .	8
7. Historias de usuarios ( <i>Product backlog</i> ). . . . .	8
8. Entregables principales del proyecto . . . . .	10
9. Desglose del trabajo en tareas . . . . .	10
10. Diagrama de Activity On Node. . . . .	11
11. Diagrama de Gantt . . . . .	13
12. Presupuesto detallado del proyecto . . . . .	14
13. Gestión de riesgos . . . . .	14
14. Gestión de la calidad . . . . .	16
15. Procesos de cierre . . . . .	16

## Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	20 de junio de 2023
1	Se completa hasta el punto 5 inclusive	4 de julio de 2023
2	Se completa hasta el punto 9 inclusive.	11 de julio de 2023
3	Se completa hasta el punto 12 inclusive.	25 de julio de 2023
4	Se completa hasta el punto 15 inclusive.	1 de agosto de 2023

## Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 20 de junio de 2023

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Ing. Rodrigo Pazos que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Inteligencia Artificial se titulará “Uso de técnicas de visión por computadora para mejorar la precisión de un sistema autónomo de checkout”, consistirá esencialmente en la mejora de un sistema existente para mejorar su capacidad predictiva, y tendrá un presupuesto preliminar estimado de 600 h de trabajo y \$ 4.074.000, con fecha de inicio 20 de junio de 2023 y fecha de presentación pública abril de 2024.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg  
Director posgrado FIUBA

Dirección de la carrera de CEIA  
FIUBA

Ing. Maxim Dorogov  
Director del Trabajo Final

## 1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

Los sistemas de checkout autónomo han ganado popularidad en los últimos años al ofrecer soluciones eficientes para la operación de pequeños mercados. Estos sistemas automatizan tareas como la actualización del inventario y el cobro a los clientes. A través del uso de algoritmos que utilizan cámaras, balanzas y otros sensores, se generan los cobros y se mantienen actualizados los niveles de stock. El local se puede mantener de manera autónoma y para el cliente la experiencia es más fluida y rápida.

En simultáneo, no existe casi bibliografía sobre el tema, ya que la investigación y desarrollo sobre el tema es de las compañías (como Amazon y Standard Cognition) y no están interesadas en compartirlo.

En 2020, AiFi organizó una competencia para la cual proporcionó un dataset de sensores y una serie de videos donde se simulaban situaciones de compra. El objetivo era implementar un sistema de checkout autónomo capaz de obtener resultados precisos para esos ejemplos. Se deduce por su funcionamiento que la arquitectura es como la presentada en la figura 1.

Este dataset es de gran relevancia ya que es el único público y proporciona una idea de cómo es que funciona un sistema de este tipo, algo que las otras empresas nunca explicaron en detalle. También lo es la solución del equipo ganador de la competencia de AiFi: hasta hoy es de los pocos trabajos públicos sobre este tema que cualquiera puede modificar y mejorar y se asemeja a una solución de código abierto del problema.

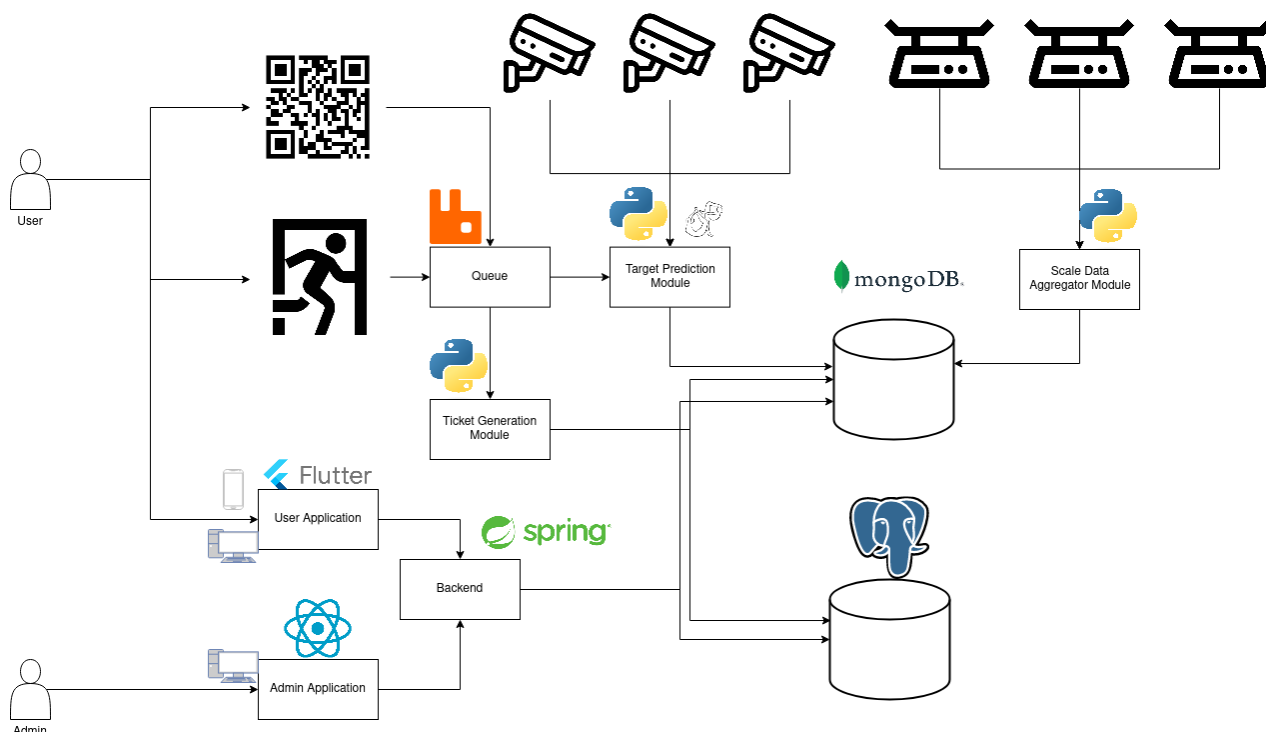


Figura 1. Diagrama de arquitectura a alto nivel de como funcionaría el sistema de AiFi.

El sistema está basado en eventos y en información tabular de los productos, su precio, etc. Cuando un cliente termina su compra, el módulo de *Ticket Generation* accede a la información asociada con ese cliente y genera el ticket correspondiente.

El equipo ganador de la competencia logró un F1 Score de 97,6 %, lo que representa un muy buen desempeño. Sin embargo, se identificó que el sistema no resuelve de manera adecuada los casos extremos, donde se presentan escenarios con varios clientes simultáneos, clientes que mueven productos entre estantes o incluso clientes que dejan los productos fuera de los lugares designados. Estos casos extremos son relevantes, ya que en el uso diario de estos sistemas es más probable que los clientes actúen de manera impredecible o poco ordenada, en contraste con los casos ideales en los que el sistema funciona correctamente.

El enfoque del equipo ganador se centró principalmente en el análisis estadístico de los datos de las balanzas en los estantes, pasando por alto el potencial de las técnicas de visión por computadora para mejorar la capacidad del sistema en los casos extremos.

El desafío concreto en el uso de cámaras es que los productos de venta minorista representan problemas para las arquitecturas más populares de visión por computadora, como por ejemplo:

- Una gran dificultad a la hora de diferenciar la versión grande o la versión chica de un mismo producto, pudiendo representar pérdidas
- Un fino trabajo de mantenimiento del sistema a la hora de actualizar los productos disponibles
- El tiempo requerido para el reentrenamiento es un aspecto crítico, ya que puede depender del acceso a hardware costoso. Además, el proceso de validación y reentrenamiento puede ser prolongado, lo que puede generar desconfianza por parte del dueño del local.

Estos son algunos de los problemas no triviales que se deberán contemplar para que la mejora sea efectiva.

El objetivo de este trabajo es mejorar la capacidad del sistema de checkout autónomo desarrollado por el equipo ganador de la competencia. La idea es poder optimizar y perfeccionar la única solución abierta disponible para abordar este problema. Además, se busca realizar una investigación sobre el tema, explorando nuevas perspectivas y enfoques.

## 2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Responsable	Ing. Rodrigo Pazos	FIUBA	Alumno
Orientador	Ing. Maxim Dorogov	FIUBA	Director Trabajo final
Cliente	Locales minoristas que buscan incorporar checkout autónomo	-	-
Usuario final	Equipo de mantenimiento y desarrollo de locales que buscan incorporar checkout autónomo	-	-

- **Cliente:** contempla todos los locales interesados en incorporar la tecnología de checkout autónomo para mejorar sus procesos.

- **Usuario final:** En el equipo de desarrollo y mantenimiento técnico, se incluyen tanto los desarrolladores como los encargados de *devops*. Estos profesionales requerirán herramientas y procesos ajustados a las necesidades del negocio para llevar a cabo eficientemente sus tareas.

### 3. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es contribuir al avance del conocimiento en el uso de cámaras en sistemas de checkout autónomo, con el objetivo de mejorar la única aproximación de código abierto disponible. En simultáneo, se busca profundizar sobre las diferentes técnicas de visión de computadora y explorar cómo utilizarlas y combinarlas de manera efectiva para desarrollar un predictor adecuado para este problema específico.

### 4. Alcance del proyecto

El presente proyecto incluye:

- Actualización y refactorización del código ya existente para mejorar su ergonomía y usabilidad.
- una investigación sobre las técnicas disponibles y sobre cómo utilizarlas y combinarlas para lograr un predictor adecuado para este problema
- Una actualización pertinente de la documentación, para que sea fácil usar y expandir el proyecto, de forma que otros puedan construir sobre este.
- Implementación de un predictor basado en las imágenes de video del dataset para resolver el problema presentado.

El presente proyecto no incluye:

- Una implementación concreta con la infraestructura que pueda usarse con el software desarrollado.

### 5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- El dataset (videos y datos de los sensores) sigue completamente disponible.
- El proyecto ganador sigue disponible en GitHub.
- Los videos disponibles deben tener un formato procesable.
- Debe existir un dataset que contenga imágenes de los productos que se observan en los videos para poder entrenar predictores.
- El dataset debe ser consistente, evitando la falta de relación entre los datos de sensores y las observaciones en los videos, garantizando que no haya inconsistencias.

## 6. Requerimientos

### 1. Requerimientos funcionales

- 1.1. El sistema debe ser capaz de procesar videos de compras en tiempo real y extraer información relevante de las imágenes, incluyendo la detección de productos. En este contexto tiempo real contempla una demora de hasta 5 minutos luego de finalizada la compra.
- 1.2. El sistema debe utilizar técnicas de visión por computadora para identificar con precisión los productos presentes en el video, incluso en casos de escenarios complejos con varios clientes, movimientos de productos entre estantes y productos fuera de los lugares designados.
- 1.3. El sistema debe ser capaz de distinguir entre diferentes versiones de un mismo producto, evitando confusiones y garantizando una identificación precisa.
- 1.4. El sistema debe mantener actualizado el inventario de productos a medida que se realizan las compras, registrando las cantidades vendidas y actualizando los niveles de stock en tiempo real.
- 1.5. El sistema debe generar un ticket de compra detallado y preciso, incluyendo los productos adquiridos, sus precios y el total a pagar por el cliente.
- 1.6. El sistema debe ser escalable y flexible, permitiendo la incorporación de nuevos productos

### 2. Requerimientos no funcionales

- 2.1. El sistema debe permitir la integración de nuevos modelos de forma sencilla.
- 2.2. El sistema debe ser fácil de mantener y actualizar, con una estructura de código limpia y modular que facilite la incorporación de mejoras y la corrección de errores.
- 2.3. El sistema debe ser robusto y capaz de manejar diferentes tipos de productos, envases y etiquetas.

### 3. Requerimientos de documentación

- 3.1. Se debe proporcionar un informe técnico que describa la arquitectura del sistema, incluyendo diagramas y explicaciones detalladas de los componentes, módulos y su interacción.
- 3.2. El proyecto debe contar con una documentación clara y detallada del código fuente, incluyendo comentarios, explicaciones de las funciones y métodos utilizados, y guías de uso de las diferentes partes del sistema
- 3.3. Se deben documentar las técnicas de visión por computadora utilizadas, incluyendo algoritmos, metodologías y herramientas específicas empleadas en el procesamiento de imágenes y la identificación de productos.
- 3.4. Se debe documentar el proceso de entrenamiento del modelo de visión por computadora, detallando el conjunto de datos utilizado, la preparación de los datos, los algoritmos de aprendizaje automático empleados y los resultados obtenidos.

## 7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

Para la estimación de *story points* se utilizara el siguiente esquema, basado en la complejidad y la dificultad de cada historia de usuario.



Cuadro 1. Tabla de Complejidad y Dificultad

Complejidad		Dificultad	
Baja	1	Baja	1
Media	3	Media	2
Alta	8	Alta	5

En función a la estimación de complejidad y dificultad se calculará el promedio. Luego se redondeará hacia arriba para conseguir el valor de Fibonacci correspondiente. Este valor será el que corresponda a los *story points* de la *user story*.

Cuadro 2. Tabla de asignación de Story Points

Complejidad	Dificultad	Promedio	Story Points
1	1	1	1
1	2	1,5	2
1	5	3	3
3	1	2	2
3	2	2,5	3
3	5	4	5
8	1	4,5	5
8	2	5	5
8	5	6,5	8

- Como encargado del local, quiero que el sistema genere predicciones con muy alta precisión para mantener el stock actualizado y generar los cobros pertinentes.
  - Complejidad: 1.
  - Dificultad: 5.
  - Story Points: 3.
- Como usuario, quiero que el sistema genere un ticket de compra detallado y preciso, incluyendo los productos adquiridos, sus precios y el total a pagar, para facilitar y garantizar un correcto proceso de cobro.
  - Complejidad: 3.
  - Dificultad: 5.
  - Story Points: 5.
- Como encargado de mantener el sistema, quiero que el sistema sea fácil de mantener y actualizar, con una estructura de código modular y documentación clara, para facilitar las futuras mejoras y correcciones.
  - Complejidad: 3.
  - Dificultad: 2.
  - Story Points: 3.
- Como encargado de mantener el sistema, quiero que el sistema sea escalable y flexible, permitiendo la incorporación de nuevos productos y la adaptación a diferentes configuraciones de cámaras y entornos de tienda, para que pueda crecer y adaptarse a mis necesidades cambiantes.

- Complejidad: 3.
- Dificultad: 5.
- Story Points: 5.

## 8. Entregables principales del proyecto

Los entregables del proyecto son (ejemplo):

- Manual de uso.
  - Guía de instalación.
  - Guía de integración.
  - Diagrama de arquitectura.
  - Detalles de la entrada y salida del sistema.
  - Detalles de los modelos utilizados.
- Código fuente.
  - Código actualizado con la nueva funcionalidad de visión por computadora.
  - Uno o más modelos de visión por computadora implementados.
- Informe final.

## 9. Desglose del trabajo en tareas

1. Investigación de técnicas de visión por computadora. (150 h)
  - 1.1. Investigar técnicas disponibles generalmente para la detección de productos. (40 h)
  - 1.2. Investigar técnicas utilizadas por empresas de checkout autónomo para la detección de productos. (30 h)
  - 1.3. Investigar técnicas que buscan resolver el problemas de deteccion de productos similares. (40 h)
  - 1.4. Investigar técnicas que buscan reducir el tiempo de entrenamiento del modelo. (40 h)
2. Implementar y probar las mejores soluciones. (150 h)
  - 2.1. Implementar las mejores 3 soluciones. (75 h)
    - 1) Implementar la mejor solución. (25 h)
    - 2) Implementar la segunda mejor solución. (25 h)
    - 3) Implementar la tercera mejor solución. (25 h)
  - 2.2. Realizar pruebas de las soluciones implementadas. (75 h)
    - 1) Realizar pruebas de la mejor solución. (25 h)
    - 2) Realizar pruebas de la segunda mejor solución. (25 h)
    - 3) Realizar pruebas de la tercera mejor solución. (25 h)

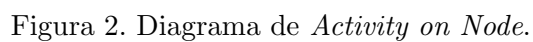
3. Refactorización y limpieza del código. (140 h)
  - 3.1. Reconocer la estructura del código. (40 h).
  - 3.2. Refactorizarlo de forma de mejorar la claridad y ergonomía. (40 h)
  - 3.3. Implementar una interfaz para poder desarrollar varios modelos predictores de productos que formen parte del nuevo proceso. (30 h)
  - 3.4. Integrar los predictores al código refactorizado. (30 h)
4. Documentación e informe final. (160 h)
  - 4.1. Inicio elaboración memoria técnica - Taller de Trabajo Final A. (100 h)
    - 1) Desarrollar un reporte de las técnicas investigadas y definir al menos tres soluciones a probar e implementar. (20 h)
    - 2) Desarrollar un informe de las pruebas realizadas. (20 h)
    - 3) Documentación del código. (20 h)
    - 4) Elaboración manuales de uso y reparación. (40 h)
  - 4.2. Revisión y correcciones de la memoria. (5 h)
  - 4.3. Fin de elaboración memoria técnica - Taller de Trabajo Final B. (40 h)
  - 4.4. Revisión y correcciones de la memoria. (5 h)
  - 4.5. Elaboración presentación final. (8 h)
  - 4.6. Revisión y correcciones de la presentación final. (2 h)

Cantidad total de horas: 600 h

## 10. Diagrama de Activity On Node

En la figura 2, se observa el Activity on Node del proyecto. Caben destacar las siguientes referencias y aclaraciones:

- Cada nodo contiene una referencia a una tarea del WBS presentado en el punto anterior.
- Cada grupo de tareas fue agrupado por colores: lila para el trabajo de implementación, rojo para el trabajo relacionado a implementación y prueba de modelos, amarillo para el trabajo relacionado a la refactorización del código y naranja para el trabajo de documentación.
- Se detallan los caminos crítico y semicrítico, con su referencia correspondiente en la figura.
- El camino crítico del proyecto es de 360 horas. Es decir, que no podría terminarse antes de las 360 horas de trabajo.



11. Diagrama de Gantt

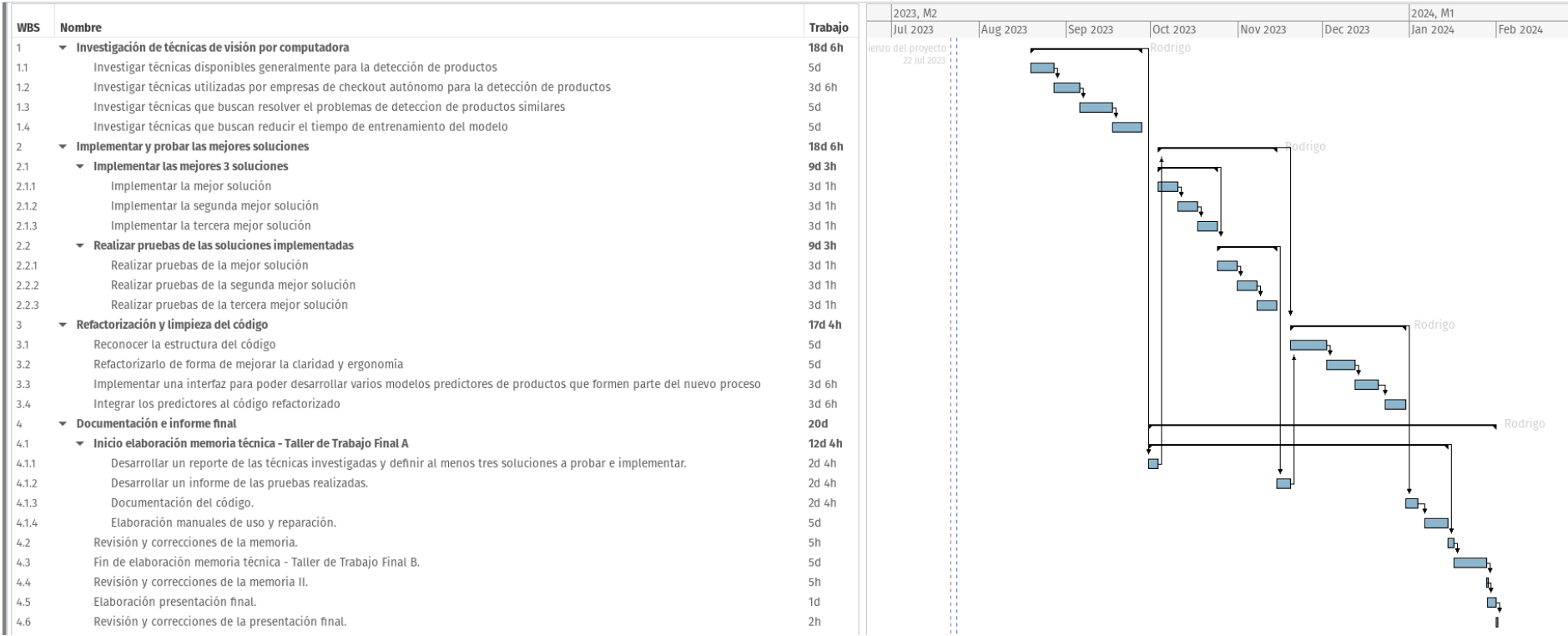


Figura 3. Diagrama de Gantt del proyecto

El diagrama de Gantt que se muestra en la figura 3 contempla 31 horas de trabajo semanal.

## 12. Presupuesto detallado del proyecto

La moneda utilizada para este presupuesto es el peso argentino.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Horas de ingeniería	600 h	\$ 5.000 / h	\$ 3.000.000
PC Laptop	600 h	\$ 530 / h	\$ 318.000
PC con placa de video	600 h	\$ 1060 / h	\$ 636.000
SUBTOTAL			\$3.954.000
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Espacio de coworking (individual)	6 meses	\$ 20.000 / mes	\$ 120.000
SUBTOTAL			\$ 120.000
TOTAL			\$ 4.074.000

## 13. Gestión de riesgos

A continuación se listan los riesgos identificados

- Riesgo 1: Que deje de estar disponible el dataset proporcionado por AiFi.
  - Severidad (10): no se podría llevar adelante la parte más importante del trabajo. La solución sería cambiar de proyecto totalmente.
  - Probabilidad (5): el dataset sigue disponible luego de 3 años. Puede ocurrir que sin previo aviso lo eliminen, pero al día de hoy no sucedió.
- Riesgo 2: Que los tiempos de entrenamiento de modelos sean demasiado largos.
  - Severidad (7): los modelos de visión por computadora suelen requerir mucho tiempo de entrenamiento. Este tiempo fue contemplado en la estimación pero puede que esa estimación no se ajuste a la realidad.
  - Probabilidad (4): teniendo una PC con placa de video la probabilidad de que esto ocurra es relativamente baja, considerando el tamaño del dataset con el que se va a trabajar.
- Riesgo 3: Que el dataset de productos disponibles no sea útil para el entrenamiento de modelos.
  - Severidad (6): algunos modelos modernos necesitan mucha información para poder lograr soluciones efectivas. Si el dataset no es lo suficientemente grande, estos modelos no serían útiles.
  - Probabilidad (3): existe un abanico de modelos lo suficientemente amplio como para que no todas las soluciones elegidas necesiten un dataset grande.

- Riesgo 4: No encontrar información sobre los modelos/arquitecturas que usan las empresas de checkout autónomo hoy en día.
  - Severidad (2): implica no tener información importante de empresas especializadas para seleccionar las soluciones a implementar.
  - Probabilidad (7): el activo más importante de estas empresas es esta información, por lo que no es algo que suelen compartir. Al mismo tiempo muchas de estas empresas comparten sus investigaciones y avances para que su solución sea estándar y logren ser líderes del mercado.
- Riesgo 5: Que el trabajo de refactorización sea demasiado extenso para lograr los objetivos de modularización y extensibilidad.
  - Severidad (7): implicaría sumar horas dedicadas al grupo de refactorización. En el peor de los casos serían 40 horas más de trabajo total.
  - Probabilidad (2): el tiempo asignado a la refactorización se basó en la evaluación del responsable del equipo, que es ingeniero informático. Su evaluación sobre la calidad del código y el trabajo necesario para refactorizarlo tiene pocas posibilidades de no ser representativo.

En base a lo desarrollado, se construye la tabla de gestión de riesgos. Se calcula el RPN como la multiplicación de la severidad y la probabilidad de ocurrencia.

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*
1	10	5	50	0	5	0
2	7	4	28	3	4	12
3	6	3	18	2	4	8
4	2	7	14			
5	7	2	14			

Nota: los valores marcados con (\*) en la tabla corresponden luego de haber aplicado la mitigación.

Criterio adoptado: Se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores a 15

- Riesgo 1: desarrollar un *backup* del dataset. Esta tarea no representa mucho tiempo y esfuerzo.
  - Severidad (0): teniendo el *backup* no representa ninguna severidad que el dataset deje de estar disponible en línea.
  - Probabilidad (5): la probabilidad no cambia.
- Riesgo 2: por cada uno de los modelos recomendados, desarrollar una lista de al menos dos modelos similares que requieran menos tiempo de entrenamiento.
  - Severidad (3): con una lista de opciones es más fácil cambiar el trabajo sin perder tiempo y sin comprometer la aproximación original al problema.
  - Probabilidad (4): la probabilidad no cambia.
- Riesgo 3: si fuera necesario y dentro de lo disponible, extender el dataset con imágenes e información disponible en internet.

- Severidad (2): con la opción de extender el dataset si fuera necesario, el impacto del riesgo es mucho menor.
- Probabilidad (4): la probabilidad no cambia.

## 14. Gestión de la calidad

Elija al menos diez requerimientos que a su criterio sean los más importantes/críticos/que aportan más valor y para cada uno de ellos indique las acciones de verificación y validación que permitan asegurar su cumplimiento.

- Req #1: copiar acá el requerimiento.
  - Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente. Detallar
  - Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido. Detallar

Tener en cuenta que en este contexto se pueden mencionar simulaciones, cálculos, revisión de hojas de datos, consulta con expertos, mediciones, etc. Las acciones de verificación suelen considerar al entregable como “caja blanca”, es decir se conoce en profundidad su funcionamiento interno. En cambio, las acciones de validación suelen considerar al entregable como “caja negra”, es decir, que no se conocen los detalles de su funcionamiento interno.

## 15. Procesos de cierre

Establecer las pautas de trabajo para realizar una reunión final de evaluación del proyecto, tal que contemple las siguientes actividades:

- Pautas de trabajo que se seguirán para analizar si se respetó el Plan de Proyecto original:
  - Indicar quién se ocupará de hacer esto y cuál será el procedimiento a aplicar.
- Identificación de las técnicas y procedimientos útiles e inútiles que se emplearon, y los problemas que surgieron y cómo se solucionaron:
  - Indicar quién se ocupará de hacer esto y cuál será el procedimiento para dejar registro.
- Indicar quién organizará el acto de agradecimiento a todos los interesados, y en especial al equipo de trabajo y colaboradores:
  - Indicar esto y quién financiará los gastos correspondientes.