



**Universidad  
Europea**

# **TRABAJO FIN DE GRADO**

**UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID  
ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO  
ÁREA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**CURSO ACADÉMICO 2023-2024**



**Universidad  
Europea**

**UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID**

**ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO**

**ÁREA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**GRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**ELECTRÓNICA Y AUTOMÁTICA**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**CONTROL DE CALIDAD DE**

**PROCESAMIENTO DE PATATAS FRITAS**

**MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL**

**Alumno: D. PABLO MARTÍN MULA**  
**Director: D. JAVIER COLLADO GUTIÉRREZ**

**JUNIO 2024**

Pablo Martín Mula

---

**TÍTULO:** CONTROL DE CALIDAD DE PROCESAMIENTO DE PATATAS FRITAS  
MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL

**AUTOR:** PABLO MARTÍN MULA

**DIRECTOR DEL PROYECTO:** JAVIER COLLADO GUTIÉRREZ

**FECHA:** 6 de JUNIO de 2024

Pablo Martín Mula

---

## RESUMEN

Este documento, corresponde a un Trabajo de Fin de Grado (TFG) del grado de Ingeniería Industrial Electrónica y Automática, en el que nos enfocaremos en una aplicación de la visión artificial en el ámbito de la industria alimentaria. A lo largo de este proyecto estudiaremos los antecedentes de esta tecnología y de su aplicación en esta industria, nos propondremos retos que cumplir, trataremos de llevar a cabo un proyecto que sea implementable en la industria real, e incluso que llegue a ser rentable su uso.

El objetivo principal de este proyecto es el de idear, diseñar y proponer la implementación de un sistema de control de calidad alimentaria en una cadena de producción de patatas fritas industriales. El motivo de la elección de este tipo de productos es que en su producción, así como en otros alimentos ricos en almidón, un exceso de cocción puede generar acrilamida, un contaminante cancerígeno, por lo que el control del proceso es vital para garantizar la seguridad alimentaria.

El control de calidad se llevará a cabo mediante la visión artificial, que nos permitirá detectar a través del color las patatas que se hayan sometido a sobrecocinado. Por tanto, entraremos en detalle a la hora de hablar de esta tecnología y de los programas informáticos que ayudan a manejarla, sistemas de iluminación e, incluso, normativas de la industria alimentaria que deberemos aplicar dentro de nuestro proyecto.

**Palabras clave:** Seguridad alimentaria, control de calidad, visión artificial, acrilamida, contaminantes, normativa alimentaria, patatas fritas

## ABSTRACT

This document corresponds to a Final Degree Project (TFG) of the degree in Industrial Electronic and Automatic Engineering, in which we will focus on an application of artificial vision in the field of the food industry. Throughout this project, we will study the background of this technology and its application in this industry, set challenges to meet, and strive to carry out a project that can be implemented in the real industry and even become profitable to use.

The main objective of this project is to conceive, design, and propose the implementation of a food quality control system in an industrial potato chip production line. The reason for choosing this type of product is that in its production, as well as in other starch-rich foods, excessive cooking can generate acrylamide, a carcinogenic contaminant, making process control vital to ensuring food safety.

Quality control will be carried out through artificial vision, which will allow us to detect overcooked potatoes by their color. Therefore, we will go into detail when discussing this technology and the software programs that help manage it, lighting systems, and even food industry regulations that we must apply within our project.

Pablo Martín Mula

---

**Keywords:** Food safety, quality control, artificial vision, acrylamide, contaminants, food regulations, potato chips

# Índice

|                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>RESUMEN</b>                                                     | <b>5</b>  |
| <b>ABSTRACT</b>                                                    | <b>5</b>  |
| <b>Capítulo 1. INTRODUCCIÓN</b>                                    | <b>9</b>  |
| <b>1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>                              | <b>9</b>  |
| <b>1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO</b>                                  | <b>9</b>  |
| <b>Capítulo 2. MEMORIA</b>                                         | <b>10</b> |
| <b>2.1 Objeto</b>                                                  | <b>11</b> |
| <b>2.2 Alcance</b>                                                 | <b>12</b> |
| <b>2.3 Antecedentes</b>                                            | <b>12</b> |
| <b>2.4 Normativa aplicable</b>                                     | <b>15</b> |
| <b>2.5 Programas de cálculo</b>                                    | <b>18</b> |
| <b>2.6 Diseño del sistema de visión artificial</b>                 | <b>20</b> |
| <b>Estudio preliminar</b>                                          | <b>20</b> |
| <b>Segunda fase de desarrollo</b>                                  | <b>26</b> |
| <b>Desarrollo del sistema de iluminación</b>                       | <b>28</b> |
| <b>Resultados del sistema de iluminación</b>                       | <b>31</b> |
| <b>Planteamiento del algoritmo de visión artificial</b>            | <b>33</b> |
| <b>Estructura del algoritmo de visión artificial</b>               | <b>34</b> |
| <b>2.7 Comprobación y validación</b>                               | <b>43</b> |
| <b>Sistema de comprobación para el control de calidad</b>          | <b>43</b> |
| <b>Sistema de calibración del algoritmo</b>                        | <b>47</b> |
| <b>2.8 Análisis estadístico de resultados</b>                      | <b>49</b> |
| <b>2.9 Presupuesto</b>                                             | <b>53</b> |
| <b>Capítulo 3. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO</b>        | <b>56</b> |
| <b>Conclusiones</b>                                                | <b>56</b> |
| <b>Limitaciones y futuras líneas de trabajo</b>                    | <b>57</b> |
| <b>Conclusión final</b>                                            | <b>57</b> |
| <b>ANEXOS</b>                                                      | <b>58</b> |
| <b>Algoritmo de visión artificial completo y ordenado</b>          | <b>58</b> |
| <b>Código completo con el sistema de comprobación implementado</b> | <b>63</b> |
| <b>Código completo de calibración</b>                              | <b>68</b> |
| <b>Anexo de normativa (RASFF)</b>                                  | <b>73</b> |
| <b>PRESUPUESTO</b>                                                 | <b>73</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>                                                | <b>74</b> |

# Índice de Figuras

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig 1. Portada El País 1989                                                         | 16 |
| Fig 2. cámara Hiperespectral                                                        | 23 |
| Fig 3. Espectros no visibles                                                        | 23 |
| Fig 4. Muestra tomada con cámara hiperespectral                                     | 24 |
| Fig 5. Prueba preliminar 6 patatas                                                  | 25 |
| Fig 6. Muestra 6 patatas umbralizada y filtrada                                     | 25 |
| Fig 7. Prueba preliminar 5 patatas 1 pinza                                          | 26 |
| Fig 8. Prueba preliminar 5 umbral amarillo filtrado                                 | 27 |
| Fig 9. Prueba preliminar 5 umbral quemado filtrado                                  | 27 |
| Fig 10. Demostración de error de algoritmo por iluminación                          | 29 |
| Fig 11. Recipiente aislante                                                         | 31 |
| Fig 12. Cámara                                                                      | 32 |
| Fig 13. Iluminación                                                                 | 33 |
| Fig 14. Tapa con bombilla fluorescente dimmable y dimmer                            | 34 |
| Fig. 15 Muestra como resultado de sistema de iluminación                            | 35 |
| Fig 16. Intervalo de colores lineal (0 1) del espacio HSV                           | 36 |
| Fig 17. Imagen original                                                             | 37 |
| Fig 18. Filtro amarillo sin ruido con bordes dilatados                              | 39 |
| Fig 19. Filtro rojizo sin ruido con bordes dilatados                                | 40 |
| Fig 20. Filtro cuerpos extraños sin ruido con bordes dilatados                      | 41 |
| Fig 21. Resultado final del programa mostrando ubicación y tipo de objeto detectado | 44 |
| Fig 22. Demostración de funcionamiento de sistema de comprobación                   | 53 |
| Fig 23. Demostración de funcionamiento sistema de calibración                       | 60 |
| Fig 24. Código de barras generado para la calibración                               | 60 |

# Índice de Tablas

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| Tab 1. Datos patatas normales                 | 67 |
| Tab 2. Datos patatas quemadas                 | 67 |
| Tab 3. Datos cuerpos extraños                 | 67 |
| Tab 4. Precisión para cada tipo de objeto     | 68 |
| Tab 5. Sensibilidad para cada tipo de objeto  | 68 |
| Tab 6. Especificidad para cada tipo de objeto | 69 |
| Tab 7. Costes materiales                      | 70 |
| Tab 8. Coste humano                           | 71 |
| Tab 9. Presupuesto del proyecto               | 76 |

# Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

En la INTRODUCCIÓN se plantean las cuestiones generales que se van a abordar en el trabajo, los aspectos más importantes e, incluso, la estructura que va a tener el proyecto. Tiene que ser algo parecido a:

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Este problema surge a raíz de la estricta legislación vigente en materia de seguridad alimentaria dentro de la propia industria de alimentación; las normativas en las que nos centraremos en este proyecto son las pertenecientes al ámbito de sustancias o cuerpos no deseados dentro de una cadena de producción de fritos específicamente. La probabilidad de la presencia de cuerpos extraños o sustancias tóxicas dentro de la cadena de producción es concretamente a lo que nos vamos a enfrentar dentro de este proyecto.

Para conseguir el objetivo propuesto, se diseñará e implementará un sistema de visión artificial consistente en un algoritmo de reconocimiento de imágenes desarrollado en MATLAB capaz de reconocer estos cuerpos extraños y sustancias no deseadas en la cadena tomando imágenes en espectro infrarrojo gracias a un sistema de visión conformado por una cámara convencional y una cámara hiperespectral.

## 1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo principal que buscamos conseguir a través de este proyecto es crear e implementar un sistema de visión artificial funcional que sea capaz de detectar en el proceso industrial de patatas fritas cuerpos y sustancias no deseadas que, por normativa, impidan que su consumo sea seguro.

Para alcanzar este propósito principal, se habrán de cumplimentar una serie de objetivos previos, sobre los cuales, construiremos una conclusión a este proyecto y podremos definir hallazgos secundarios tales como si es posible llegar a una consecuencia funcional para nuestro objetivo principal. En tal caso, valorar si es rentable con respecto a sistemas que ya se implementan en la actualidad, y si es una solución óptima y puede aportar alguna mejora dentro de este tipo de procesos de producción industriales.

Entre los objetivos secundarios que configuran la lista de tareas a cumplir para cumplimentar el propósito principal destacan:

- La elaboración de un estudio acerca de la resolución existente de la problemática planteada dentro de la industria.
- Un estudio de viabilidad acorde con la normativa alimentaria vigente en el ámbito de producción de fritos.
- La elaboración del sistema de visión artificial capaz de detectar estos errores dentro de la cadena de producción.
- Realización de un estudio posterior al desarrollo, exponiendo las conclusiones que podemos obtener sobre la practicidad y viabilidad de la implementación de nuestro sistema de visión artificial, frente a las soluciones ya disponibles dentro de la industria.

## Capítulo 2. MEMORIA

En este capítulo, redactamos una memoria resaltando todos los procesos que hemos llevado a cabo en la elaboración del proyecto, haciendo énfasis en ciertos puntos del proceso específico en forma de epígrafes.

Inicialmente, haremos una recopilación a modo de resumen de los problemas planteados y de los procedimientos que hemos decidido seguir para su resolución. Haremos una lista de las tareas y trabajos que hemos desarrollado para llegar a una conclusión y, por último, estableceremos el marco teórico en el que nos vamos a basar para abordar este proyecto. Tras esto, los epígrafes en los que vamos a enfatizar son:

- **Objeto**
- **Alcance**
- **Antecedentes**
- **Disposiciones legales y normas aplicadas**
- **Programas de cálculo**
- **Requisitos de diseño**
- **Análisis de las soluciones**
- **Resultados finales**

En el complejo entramado de la industria alimentaria, donde la seguridad y la calidad son imperativos irrenunciables, emerge una problemática que despierta preocupación y exige soluciones innovadoras: la presencia de cuerpos extraños y sustancias indeseadas en la cadena de producción de alimentos. Este desafío cobra especial relevancia en el ámbito de la fabricación de patatas fritas, una delicia culinaria que disfrutan millones de personas en todo el mundo, y que, como cualquier producto alimenticio, está sujeto a los rigurosos estándares de seguridad y calidad.

La regulación existente en materia de seguridad alimentaria impone un marco normativo estricto que las empresas deben seguir para garantizar la inocuidad de sus productos. Dentro de este marco, las directrices relacionadas con la detección y prevención de cuerpos extraños y sustancias no deseadas son especialmente críticas en el proceso de producción de alimentos fritos, donde un exceso de calentamiento podría generar acrilamida, sustancia cancerígena, cuyos niveles máximos también están regulados por ley. Este escenario normativo nos sirve como punto de partida para abordar este proyecto, conscientes de la importancia de cumplir con las exigencias regulatorias y, al mismo tiempo, de la necesidad de implementar medidas proactivas para garantizar la excelencia en la producción alimentaria.

En esta empresa de innovación, nos proponemos diseñar y poner en marcha un sistema pionero basado en visión artificial, una herramienta tecnológica de vanguardia que promete revolucionar la detección de contaminantes en la cadena de producción de patatas fritas. Nuestra visión es desarrollar un algoritmo de reconocimiento de imágenes de alta precisión y eficiencia, aprovechando las capacidades avanzadas de MATLAB para el procesamiento de datos y la inteligencia artificial.

Pablo Martín Mula

---

El corazón de nuestro sistema de visión reside en la combinación de una cámara convencional y una cámara hiperespectral. Esta fusión de tecnologías nos permite capturar imágenes en espectro infrarrojo, un enfoque innovador que amplía nuestras capacidades de detección y nos permite identificar contaminantes que podrían pasar desapercibidos para sistemas tradicionales. La riqueza de información proporcionada por estas imágenes nos brinda la oportunidad de profundizar en el análisis y la clasificación de los cuerpos extraños y sustancias no deseadas, mejorando así la precisión y la fiabilidad de nuestro sistema de detección.

Nuestro objetivo va más allá de simplemente cumplir con los requisitos regulatorios; aspiramos a establecer nuevos estándares de excelencia en la seguridad alimentaria, ofreciendo a la industria una herramienta poderosa y confiable para proteger la integridad de sus productos y la confianza de los consumidores. Con nuestro sistema de visión artificial, estamos construyendo un futuro donde la seguridad y la calidad en la producción de alimentos son garantizadas con la más alta tecnología y el compromiso inquebrantable con la excelencia.

## 2.1 Objeto

El propósito primordial de este proyecto es la creación e implementación de un sistema de visión artificial altamente funcional. Este sistema estará diseñado para identificar cuerpos extraños y sustancias no deseables en las patatas fritas industriales, garantizando así el cumplimiento de la legislación que regula la seguridad de su consumo.

Para alcanzar este objetivo principal, se deben llevar a cabo una serie de objetivos intermedios. Estos objetivos servirán como los cimientos sobre los cuales edificaremos nuestra conclusión final y evaluaremos diversas conclusiones secundarias. Entre estas, se incluye la determinación de la viabilidad de nuestro sistema, su rentabilidad en comparación con las soluciones existentes en la industria, y su capacidad para mejorar los procesos de producción industriales.

Los objetivos secundarios actúan como una lista exhaustiva de tareas que deben cumplirse para lograr el objetivo principal. Estos incluyen:

Realizar un estudio exhaustivo sobre la problemática actual dentro de la industria y evaluar las soluciones existentes.

Analizar la viabilidad del proyecto en relación con las regulaciones alimentarias vigentes en el sector de la producción de alimentos fritos.

Desarrollar un sistema de visión artificial robusto y preciso, capaz de detectar anomalías en la cadena de producción.

Llevar a cabo un análisis exhaustivo después del desarrollo del sistema para evaluar su practicidad y viabilidad en comparación con las soluciones ya disponibles en la industria.

Pablo Martín Mula

---

Al cumplir con estos objetivos secundarios, estaremos más cerca de alcanzar nuestro objetivo principal de implementar un sistema de visión artificial efectivo para mejorar la calidad y seguridad de las patatas fritas industriales.

El origen de la idea de llevar a cabo este proyecto fue el de agilizar y mejorar el proceso de control de calidad y cumplimentación de requerimientos de seguridad alimentaria en la producción industrial de patatas fritas, ya que, si bien existen múltiples maneras de detectar cuerpos extraños y contaminaciones cruzadas con diferentes sistemas de visión artificial, hay sustancias que no son tan fáciles de apreciar a simple vista o con una cámara convencional. Este es el caso de las sustancias químicas tóxicas, como la aparición de acrilamidas por sobrecoCCIÓN de la patata, o la presencia de microplásticos que pueden pasar desapercibidos para el ojo humano. De ahí la idea de la combinación de un sistema de visión artificial con cámara convencional, y otro con imagen hiperespectral.

## 2.2 Alcance

Como ya hemos mencionado, el objetivo del proyecto es tratar de implementar nuestro sistema de visión artificial en una cadena de producción industrial de patatas fritas, más concretamente en la parte de control de calidad alimentaria, con el fin de encontrar una solución óptima y fiable, de manera que pueda llegar a aportar mayor agilidad a este control, tradicionalmente realizado de forma manual, retirando por parte de los operarios los cuerpos extraños (piedras, pieles, huesos e incluso piezas de la propia maquinaria, entre otros) o las unidades de producto defectuosas (quemadas, rotas, etc.). Con nuestra propuesta, se busca minimizar el factor humano, con sus consiguientes errores, y se ahorraría tanto en coste de personal como en tiempo de proceso. Esto, a su vez, proporcionaría un ahorro de energía, al acortar los tiempos de funcionamiento de las máquinas, con su correspondiente disminución de recursos económicos, y aportaría una solución robusta y segura para un entorno de seguridad tan estricto como es el de los productos de consumo humano.

En la actualidad ya existen numerosos sistemas de visión artificial implementados dentro de la industria alimentaria destinados a controlar la calidad de los procesos de producción, por lo que este proyecto estará orientado a generar un sistema aplicable en la industria actual y que sea capaz de cumplir con la normativa vigente, en empresas con recursos limitados y menor acceso a tecnologías vanguardistas pero muy costosas.

Las sustancias no deseadas más difíciles de detectar son claramente las que no son visibles para el ojo humano, por lo que nos vamos a centrar ante todo en ser capaces de detectar este tipo de sustancias de manera que nuestro proyecto se diferencie y destaque en un ámbito concreto, estas sustancias son tales como microplásticos y acrilamidas generadas por malos cocinados en la cadena de producción.

## 2.3 Antecedentes

Pablo Martín Mula

---

Desde los comienzos de la industria alimentaria, el control de calidad de los alimentos procesados ha ido variando mucho a lo largo del tiempo, de manera que ha ido avanzando a medida que se ha ido haciendo de manera más rigurosa y exhaustiva.

Esta exigencia de los controles de calidad ha ido incrementando con el tiempo gracias a factores como los avances en la sanidad que han acaecido desde los comienzos de esta industria, como la competitividad de los mercados a la hora de ofrecer productos de cada vez mayor calidad para los consumidores.

Históricamente, han ocurrido enormes tragedias producidas por errores de control de calidad en la industria alimentaria, que han llegado a causar intoxicaciones, que en algunos casos, incluso han sido mortales; uno de los casos es el conocido como la crisis del aceite de colza desnaturalizado o síndrome del aceite tóxico 1981, caso que fue investigado y finalmente resuelto como fraude, que podría haber sido detectado por un control de calidad más riguroso.

# EL PAÍS

EDICIÓN DE MADRID **DIARIO INDEPENDIENTE DE LA MAÑANA** DOMINGO 21 DE MAYO DE 1989  
 Redacción, Administración y Talleres: Miguel Yuste, 40 / 28007 Madrid / (91) 754 38 00 / Precio: 125 pesetas. Sin suplemento semanal: 65 pesetas / Año XIV, Número 4.418



Familiares y afectados por el síndrome tóxico protestan al conocer la sentencia. MANISA FLORES

La levedad de las condenas motiva violentas protestas de los afectados

## Sólo dos condenados en el juicio de la colza ingresan en prisión

El tribunal que juzgó el caso del síndrome tóxico condenó ayer a los principales procesados en esta causa a penas muy inferiores a las que solicitaba el fiscal, pese a haberse considerado probada la relación entre la ingestión del aceite de colza desnaturalizado y la enfermedad. Sólo dos de los 38 juzgados ingresaron anoche en la prisión de Carabanchel: Juan Miguel Bengoechea (condenado a 20 años de cárcel) y Ramón Ferrero (12 años). Los restantes, con penas menores, ya han cumplido la condena durante el período de prisión preventiva o han sido absueltos. El tribunal considera que no hubo homicidios, sino delito contra la salud pública e imprudencia temeraria profesional.

El tribunal suspendió la lectura de la sentencia poco antes de las seis de la tarde de ayer, ante los incidentes originados por grupos de afectados que interrumpieron el acto con abucheos y gritos de disconformidad con el contenido.

Escenas de tensión e historia se sucedieron a partir de ese momento. Más de una decena de afectados se desmayó mien-

tras numerosas personas abandonaban la sala llorando y gritando: "Esto es una vergüenza. No queremos dinero, sino justicia". Las penas a las que han sido condenados los principales encausados son las siguientes:

Juan Miguel Bengoechea, 20 años de reclusión y multa de 100.000 pesetas por dos delitos contra la salud pública y otro

de imprudencia temeraria profesional.

Ramón Ferrero, 12 años de prisión por dos delitos de imprudencia temeraria profesional y otro de estafa.

Elias Ferrero y Cándido Hernández Galín, cuatro años y dos meses por cooperación en estafa.

Enric Salomó y Ramón Alabart, cuatro años y dos meses de prisión y 100.000 pesetas de multa por delito contra la salud pública.

Jorge Pich, 10 años de prisión y 100.000 pesetas de multa como cómplice en los delitos atribuidos a Juan Miguel Bengoechea.

Fernando Bengoechea fue absuelto.

Páginas 15 e 17  
 Editorial en la página 12

El empresario Gustavo Durán, acusado de soborno

## Un diputado de IU denuncia una oferta de 100 millones para votar contra Leguina

Miguel Ángel Olmos, diputado de Izquierda Unida en la Asamblea de Madrid, acudió a las 9.15 de ayer al juzgado de guardia para denunciar que el empresario Gustavo Durán le había ofrecido 100 millones de pesetas por votar a favor de la moción de censura del Partido Popular y el CDS contra el presidente de la Comunidad de Madrid, Joaquín Leguina.

El denunciante basa su acusación en una cinta magnetofónica en la que grabó la conversación que había mantenido el día anterior con Durán. De acuerdo con esa grabación, Durán le dijo a Olmos que la discreción del posible acuerdo estaba asegurada porque el pacto iba a cerrarlo él con Manuel Fraga, presidente nacional del PP.

Horas antes de acudir a la cita que le había propuesto Durán, Olmos hizo una declaración notarial para dejar constancia de la sospecha de que su interlocutor iba a ofrecerle dinero para que modificara su actitud política.

Durán, según la transcripción de la cinta facilitada ayer por IU, dice: "Todos mis asuntos y todos mis negocios están alrededor de Entrecanales, Dragados, Agromán, Huarte, Hispano, Ferroviario, FOCSA, CYCSA (...). La cuestión está en que todos los presidentes son íntimos amigos míos y yo me llevo muy bien con ellos. (...) A mí me han dado tu teléfono ellos". A continuación explica que su trabajo con las constructoras consiste en buscar "los enchufes", si son necesarios, para obtener la adjudicación de obras.

"Aquí", agregó, "parece que estamos abocados a que los que gobiernan sean los del centro-derecha para que alguien pueda gobernar y que realmente se pueda dirigir la Comunidad. Bueno, yo, por parte de la construcción, tengo poderes generales, amplios y absolutos, y esta gente domina el

centro-derecha (...). Todo el oro del mundo está ahí. No digamos la gran construcción. Para estos tíos, no sé, 100 millones de pesetas, Miguel Ángel, es poco dinero".

Ramón Tamames, concejal del CDS en el Ayuntamiento de Madrid, que apartes mencionado en la conversación, negó ayer cualquier relación con Durán. Por su parte, Manuel Fraga rechazó estar vinculado en este intento de compra de votos.

Página 19

## Cientos de miles de chinos desafían la ley marcial

Cientos de miles de obreros y estudiantes chinos desafiaron ayer la ley marcial decretada por el Gobierno y las amenazas de desalojar por la fuerza a los jóvenes que seguían en la plaza de Tiananmen, en el centro de Pekín, escenario de las mativas manifestaciones de protestas y reivindicaciones democratizadoras de las últimas semanas.

Las autoridades han impuesto un bloqueo informativo a los medios locales, que no se han referido en ningún momento a los insistentes rumores sobre el relevo del secretario general del Partido Comunista Chino, Zhao Ziyang. Sin embargo, repiten insistentemente el discurso del primer ministro, Li Peng, en una clara muestra de que se ha convertido en el número dos del país más poblado del mundo.

Numerosos pequeños contingentes de la huelga de hambre y se les han unido otros 300 estudiantes en Shanghai, el mayor puerto nacional, donde también prosiguen las manifestaciones.

Páginas 2 y 3  
 Suplemento Domingo

**CURSOS**  
 Clases directas y a distancia

**SI BUSCA UN TRABAJO COMO**

- Asesor Fiscal.
- Auditor de Cuentas.
- Director Económico-Financiero.
- Director Administrativo-Contable
- Técnico Contable.
- Asesor Laboral.
- Director de Recursos Humanos.

Infórmese de nuestros Cursos  
 Sesión informativa el próximo día 24 de mayo a las 19:30 horas.

**CENTRO DE ESTUDIOS FINANCIEROS**  
 C/ Pozos, 15 28019 MADRID  
 Telfs. (91) 445 19 19 - 445 82 82

**DOMINGO**

Desmond Bristow, un cazaspias en Nerja

La España de la posguerra civil en la memoria de un agente británico clave

Marcinkus habla sobre la muerte del papa Juan Pablo I



Desmond Bristow

**LIBROS**  
 'Los versos satánicos' se publican en España

**FUTURO**  
 Fotografía electrónica

**VIAJES**

**NEGOCIOS**

Toda la información sobre Bolsa, Ofertas de Empleo y Mercado Inmobiliario.

Portada de EL PAÍS del 21 de mayo de 1989

Fig 1. Portada El País 1989

Pablo Martín Mula

---

Dentro de la industria alimentaria y del mercado que conocemos, la calidad es un punto esencial. No siempre ha sido tan riguroso, pero actualmente, uno de los requerimientos mínimos indispensables es que los alimentos fabricados cumplan con la normativa sanitaria y requisitos de calidad de la región donde se comercialicen.

Además, en el mercado tan competitivo existente estar a la vanguardia de la seguridad alimentaria es uno de los puntos vitales a la hora de diferenciar una marca del resto, por lo que ofrecer una mayor garantía de calidad y seguridad es esencial para captar clientes y generar una imagen positiva del producto.

Cuando hablamos de la visión artificial dentro de los antecedentes de esta industria, es una tecnología que ya lleva años implementada dentro de esta fase de control de calidad en la industria alimentaria, puesto que equipos como los de inspección por rayos X suponen un método altamente eficiente a la hora de detectar fallos en las cadenas de producción. Además, es muy importante detectarlos sin la necesidad de realizar un análisis en la postproducción, sino realizando el control durante la producción, lo que permite ahorrar tiempo, energía y recursos a la vez que garantizamos calidad y precisión en el cumplimiento de normativas.

La tecnología de visión artificial está ahora a la vanguardia de los controles de calidad de alimentos gracias a las ventajas que ofrece, y cada vez se realizan nuevos algoritmos y sistemas que detectan cuerpos y sustancias difíciles de ver, como es el caso de la detección de aflatoxinas en cadenas de producción de higos, llevado a cabo por la empresa Tomra, uno de los últimos avances presentados en este ámbito.

Los controles de calidad llevados a cabo mediante la visión artificial están cada vez más normalizados dentro de la industria alimentaria, y están más pulidos y poseen menor margen de error, es por ello que en este proyecto vamos a aportar una nueva idea dentro de un tipo de producto en concreto como es la patata frita.

## **2.4 Normativa aplicable**

En este apartado, exponemos toda la normativa existente relevante y aplicable a tener en cuenta durante el desarrollo de este proyecto. Con el fin de poder implementar nuestro sistema en una cadena de producción de patatas fritas, es importante tener en cuenta la normativa vigente tanto a nivel nacional (Boletín oficial del estado), como a nivel internacional (Normativa Europea).

Es de extrema importancia tener en cuenta las normativas vigentes puesto que uno de nuestros objetivos primordiales a la hora de decidir elaborar este proyecto, es que se pueda implementar de manera segura y regulada dentro de cadenas de producción nuevas o existentes, y debido a esto es por lo que es vital el cumplimiento de las normas y directrices impuestas por el gobierno.

Pablo Martín Mula

---

Es importante el cumplimiento de la normativa de producción y seguridad alimentaria puesto que los alimentos que se producen en esta industria van dirigidos al consumo humano, por lo que garantizar la calidad y salubridad de la cadena de producción es primordial a la hora de comercializar este tipo de productos.

Por ello, es fundamental comprender y aplicar las normativas específicas que regulan cada etapa del proceso de producción de patatas fritas, desde la recepción de la materia prima hasta el empaquetado y distribución del producto final. A continuación, se detallan las principales normativas y directrices a considerar:

### **Normativa Nacional (Boletín Oficial del Estado - BOE)**

En el contexto español, el BOE publica todas las leyes y reglamentos pertinentes a la producción y seguridad alimentaria. Entre las normativas clave para la producción de patatas fritas se encuentran:

Ley 17/2011, de seguridad alimentaria y nutrición: Esta ley establece las bases para garantizar la seguridad alimentaria y la protección de la salud de los consumidores. Incluye disposiciones sobre la higiene en la producción, el control de calidad, y la trazabilidad de los alimentos.

Real Decreto 1334/1999, por el que se aprueba la norma general de etiquetado, presentación y publicidad de los productos alimenticios: Regula el etiquetado y la presentación de los productos alimenticios, asegurando que la información proporcionada a los consumidores sea clara, veraz y suficiente.

Real Decreto 640/2006, sobre productos alimenticios tratados con radiaciones ionizantes: Aunque no directamente relacionado con todas las patatas fritas, es relevante si se utiliza esta tecnología para la conservación de patatas o productos derivados.

Real Decreto 3484/2000, por el que se establecen las normas de higiene para la elaboración, distribución y comercio de comidas preparadas: Específicamente relevante para garantizar la higiene en la producción de patatas fritas.

### **Normativa Europea**

La normativa europea proporciona un marco legal común para todos los Estados miembros, facilitando el comercio intracomunitario y garantizando altos niveles de seguridad alimentaria. Las regulaciones más relevantes incluyen:

Reglamento (CE) nº 178/2002, que establece los principios y requisitos generales de la legislación alimentaria, crea la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria y fija procedimientos relativos a la seguridad alimentaria: Este reglamento establece los principios fundamentales de la legislación alimentaria en la UE, incluyendo la trazabilidad y la gestión de riesgos.

Pablo Martín Mula

---

Reglamento (CE) nº 852/2004, relativo a la higiene de los productos alimenticios: Define las obligaciones de los operadores de empresas alimentarias en cuanto a las condiciones higiénicas y sanitarias en todas las etapas de la cadena alimentaria.

Reglamento (CE) nº 853/2004, por el que se establecen normas específicas de higiene de los alimentos de origen animal: Aunque se centra en alimentos de origen animal, algunas disposiciones pueden ser relevantes si se utilizan ingredientes animales en la producción.

Reglamento (CE) nº 1935/2004, sobre materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos: Asegura que los materiales utilizados en el empaquetado de las patatas fritas no contaminen el producto.

### **IFS Food**

Según la norma IFS Food versión 8, los requisitos relacionados con la detección de cuerpos extraños se encuentran en la Parte 2, que detalla el listado de requisitos de la auditoría. Vamos a redactar los puntos clave que la componen:

*Control de Equipos de Detección (Sección 4.12 Mitigación del riesgo de material extraño):*

4.12.1: La empresa debe utilizar métodos adecuados para la detección de cuerpos extraños, tales como detectores de metales, rayos X, entre otros, en función de los riesgos asociados a sus productos y procesos.

4.12.2: Los equipos de detección deben ser adecuados y estar calibrados regularmente para asegurar su eficacia en la detección de cuerpos extraños.

4.12.3: Los procedimientos de verificación y control deben estar bien documentados y ser parte del sistema de gestión de la seguridad alimentaria de la empresa.

*Mantenimiento y Verificación (Sección 4.16 Mantenimiento y reparaciones):*

4.16.1: Es esencial mantener un programa de mantenimiento preventivo para los equipos de detección de cuerpos extraños, asegurando su correcto funcionamiento y minimizando el riesgo de fallos.

4.16.2: Se deben realizar inspecciones periódicas y mantenimiento correctivo cuando se detecten fallos o desviaciones en el funcionamiento de los equipos.

*Capacitación del Personal (Sección 3.3 Formación e instrucción):*

3.3.1: Todo el personal involucrado en el uso y mantenimiento de los equipos de detección debe recibir una formación adecuada y continua para asegurar la competencia en la operación y gestión de dichos equipos.

### **Implementación y Cumplimiento**

Pablo Martín Mula

---

Para garantizar la implementación efectiva de estas normativas en la cadena de producción de patatas fritas, es crucial adoptar un enfoque sistemático:

**Análisis de Peligros y Puntos de Control Crítico (APPCC):** Este sistema, obligatorio según la normativa europea, permite identificar y controlar los peligros significativos para la seguridad alimentaria en el proceso de producción de patatas fritas.

**Selección de Equipos:** Elegir los equipos de detección (rayos X, detectores de metales) adecuados según los riesgos identificados y las características de los productos.

**Instalación y Calibración:** Instalar los equipos en puntos críticos de la línea de producción y calibrarlos según las especificaciones del fabricante.

**Auditorías y Controles Internos:** Realizar auditorías internas periódicas para asegurar el cumplimiento de las normativas y detectar posibles desviaciones que puedan ser corregidas a tiempo.

**Capacitación del Personal:** Asegurar que todos los empleados estén adecuadamente formados en prácticas de higiene y seguridad alimentaria, y que conozcan las normativas aplicables.

**Documentación y Trazabilidad:** Mantener un registro detallado de todas las etapas del proceso de producción, desde la recepción de materias primas hasta la distribución del producto final, para garantizar la trazabilidad y facilitar la gestión de riesgos.

**Verificación y Validación:** Realizar verificaciones periódicas para confirmar que los equipos funcionan correctamente y validaciones para asegurar que los procedimientos de detección son efectivos.

### **Importancia del Cumplimiento Normativo**

El cumplimiento de la normativa alimentaria no solo es una obligación legal, sino también una herramienta esencial para garantizar la confianza de los consumidores y la reputación de la empresa. Las infracciones pueden resultar en sanciones legales, retiradas de productos, y daño a la imagen de la marca. Además, el cumplimiento estricto de las normativas puede abrir nuevas oportunidades de mercado, especialmente en mercados internacionales donde los estándares de seguridad alimentaria son altamente valorados.

En resumen, la adhesión a la normativa alimentaria vigente es una condición sine qua non para el éxito y la sostenibilidad de cualquier proyecto en la industria alimentaria. Implementar sistemas robustos de control y aseguramiento de la calidad, capacitar al personal, y mantener una cultura de mejora continua son elementos clave para cumplir con las exigencias legales y superar las expectativas de los consumidores.

## **2.5 Programas de cálculo**

Pablo Martín Mula

---

A lo largo de este apartado, vamos a explicar la mayor parte del proceso de elaboración del proyecto, haciendo énfasis en la herramienta informática que hemos empleado para sacar las conclusiones pertinentes, y más adelante hablaremos acerca de los algoritmos empleados para el funcionamiento de nuestro sistema de manera que quede reflejado a modo de memoria todos y cada uno de los puntos de control en los que nos hemos propuesto trabajar; por último, sacaremos unas conclusiones previas a las conclusiones globales del proyecto en forma de la realización de un análisis estadístico de los resultados obtenidos experimentalmente.

Para comenzar a explicar el proyecto que hemos realizado, debemos presentar antes de nada la herramienta informática sobre la que hemos trabajado, en nuestro caso, hemos utilizado la herramienta llamada “Matlab”.

A lo largo de este apartado, vamos a explicar detalladamente qué es MATLAB y su capacidad en el ámbito de la visión artificial. Haciendo énfasis en esta herramienta informática, se destacarán sus funcionalidades principales y su aplicabilidad en el desarrollo de sistemas de visión artificial. Posteriormente, abordaremos los algoritmos específicos que se emplean para el procesamiento y análisis de imágenes dentro de MATLAB, de manera que quede reflejado de manera comprensiva cada uno de los pasos y puntos de control implementados durante el desarrollo del sistema. Finalmente, presentaremos unas conclusiones preliminares basadas en un análisis exhaustivo de los resultados obtenidos experimentalmente.

MATLAB (Matrix Laboratory) es un entorno de programación y una plataforma de computación numérica desarrollada por MathWorks. Diseñada principalmente para facilitar la implementación y la experimentación en ingeniería y ciencias, MATLAB permite a los usuarios realizar cálculos matemáticos, desarrollar algoritmos, crear modelos y simular sistemas dinámicos. Su versatilidad y potencia radican en su capacidad de trabajar con matrices, graficar datos y funciones, implementar algoritmos y crear interfaces de usuario.

En el ámbito de la visión artificial, MATLAB se destaca como una herramienta integral que facilita desde la adquisición de imágenes hasta el procesamiento avanzado y la interpretación de datos visuales. Su Toolbox de Visión Artificial proporciona un conjunto completo de algoritmos y funciones que permiten a los desarrolladores y científicos implementar y probar rápidamente sistemas de visión artificial.

Uno de los primeros pasos en cualquier proyecto de visión artificial es la adquisición de imágenes. MATLAB ofrece soporte para múltiples dispositivos de captura, incluyendo cámaras web y cámaras industriales. A través de sus funciones, se puede acceder directamente al hardware de captura, configurar parámetros de adquisición y obtener imágenes en tiempo real.

El preprocesamiento de imágenes es crucial para mejorar la calidad de las mismas antes de cualquier análisis posterior. MATLAB incluye una variedad de técnicas de preprocesamiento, como filtrado, ajuste de contraste, eliminación de ruido y transformación geométrica. Estas técnicas ayudan a preparar las imágenes para una posterior segmentación y análisis detallado.

Pablo Martín Mula

---

La segmentación de imágenes es un paso esencial en la visión artificial, ya que permite identificar y aislar regiones de interés dentro de una imagen. MATLAB ofrece herramientas potentes para la segmentación basada en umbral, detección de bordes, segmentación basada en regiones y técnicas avanzadas como la segmentación con redes neuronales.

Una vez segmentadas las imágenes, el análisis de características se convierte en el foco principal. MATLAB permite extraer características relevantes de las imágenes, como formas, texturas y colores, utilizando diversas técnicas. Estas características se utilizan luego en algoritmos de reconocimiento y clasificación.

Para el reconocimiento y la clasificación, MATLAB proporciona herramientas avanzadas que incluyen técnicas de aprendizaje automático y redes neuronales profundas. La Toolbox de Visión Artificial integra funciones para el entrenamiento, validación y prueba de modelos de aprendizaje automático, facilitando la creación de sistemas robustos y precisos.

La visualización de datos es una parte fundamental en el desarrollo y la validación de sistemas de visión artificial. MATLAB permite la visualización interactiva de imágenes y datos de procesamiento, lo que facilita la depuración y el ajuste de algoritmos. Las herramientas de visualización en MATLAB incluyen gráficos en 2D y 3D, visualización de volúmenes y animaciones.

En la actualidad existen muchas otras herramientas informáticas para la realización de algoritmos implementables en sistemas de visión artificial, en nuestro caso, hemos decidido Matlab frente a otros muy conocidos como Python con OpenCV, ya que a lo largo de nuestros estudios hemos trabajado mucho más con ella, puesto que la Universidad Europea de Madrid nos provee de licencias para el uso de esta herramienta para ayudarnos en la realización de nuestros proyectos.

## 2.6 Diseño del sistema de visión artificial

### Estudio preliminar

El sistema de visión artificial que hemos diseñado ha pasado por numerosas etapas desde que nos comenzamos a plantear los objetivos del proyecto.

En un comienzo, el objetivo principal que íbamos a abordar era la problemática existente dentro de la industria alimentaria, más concretamente de la industria de las patatas fritas, de reducir la cantidad de acrilamida producida por una sobrecocción durante el proceso de fritura de este aperitivo. Como ya hemos mencionado, este es un problema de salud pública, al tratarse de una sustancia tóxica carcinogénica, cuyos límites máximos están regulados por ley.

En un principio, realizamos una investigación acerca de cómo agilizar el proceso de detección de la sustancia sin necesidad de realizar un análisis químico del producto ya procesado (este venía siendo un proceso habitual de análisis por lotes de producción, que implicaba eliminar los lotes contaminados). Estos análisis conllevan un gasto de tiempo, y por lo tanto, de recursos y energía, además de un desperdicio del producto contaminado. Tras esta investigación,

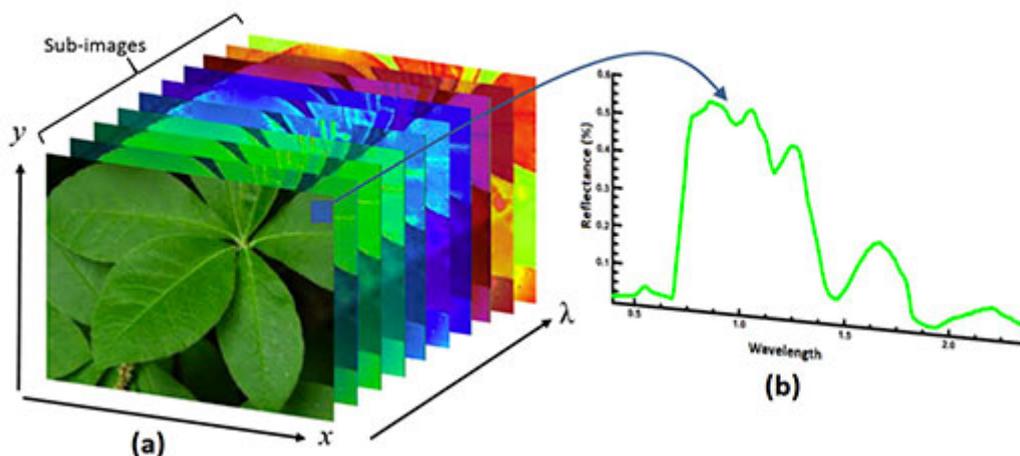
Pablo Martín Mula

Llegamos a la conclusión de que sería necesario el uso de una cámara hiperespectral con acceso al espectro infrarrojo, esto es así, porque la sustancia que tratamos de detectar no es visible para el ojo humano.

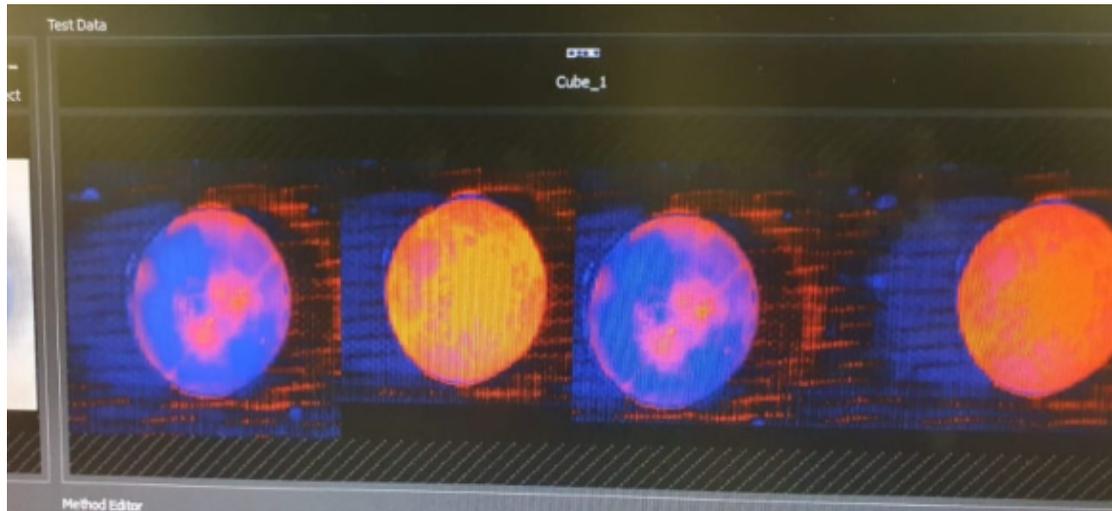
Llegamos a la conclusión de que iba a ser necesaria dicha cámara hiperespectral industrial, ya que al tratar de simular la exposición al espectro infrarrojo mediante un sistema de iluminación para las patatas consistente en luces led de distintos colores dispuestas de manera que iluminasen completamente las muestras, es decir, las patatas. Dado que no disponíamos de los recursos para acceder a este tipo de cámaras, finalmente optamos por llevar nuestro proyecto por otro camino, más asequible, que nos condujo, al mismo tiempo, a encontrar soluciones más accesibles para industrias con menos recursos económicos.



*Fig 2. cámara Hiperespectral*



*Fig 3. Espectros no visibles*



*Fig 4. Muestra tomada con cámara hiperespectral*

No optamos por el camino de la visión hiperespectral de patatas, puesto que no disponíamos de este tipo de cámara, que se trata de material muy especializado y costoso, y pese a que en un futuro muy probablemente sea una excelente manera de agilizar y mejorar este tipo de industria, en la situación que nos encontramos, se consideró que para este proyecto era demasiado ambicioso el invertir una suma tan grande de dinero.

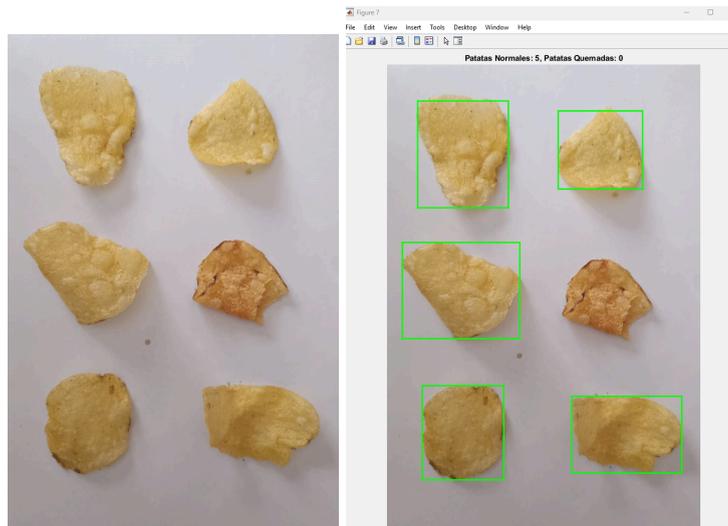
Una vez descartada la visión hiperespectral, vamos a explicar el camino que hemos tomado finalmente para llegar a la resolución de los objetivos planteados al comienzo de nuestro proyecto.

En un comienzo nos hemos replanteado utilizar el método de puntos críticos de control (APPCC) con el fin de generar un camino a seguir y proceder a listar una serie de objetivos que para nosotros son viables a la hora de intentar resolverlos.

#### Primera fase de desarrollo

Inicialmente, hemos propuesto desarrollar una manera eficaz para aprender a diferenciar patatas que tienen el punto de cocinado deseado de las patatas que por sobrecocción se han quemado, y por lo tanto, son más susceptibles a contener la sustancia acrilamida. Para ello, hemos esbozado un código rudimentario en Matlab, empleando la cámara digital de un dispositivo móvil. Hemos colocado una imagen de muestra con producto normal y quemado, con el objetivo de establecer una diferenciación por colores visibles para la cámara que estamos empleando.

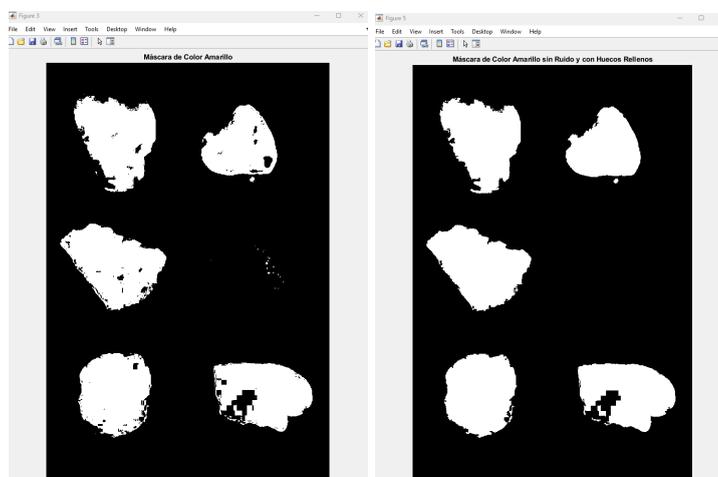
Pablo Martín Mula



*Fig 5. Prueba preliminar 6 patatas*

Como podemos observar en estas imágenes, conseguimos en un primer momento separar las patatas sanas de las patatas que se habían pasado de cocción, lo que se aprecia por el color más rojizo. Al mismo tiempo, aprovechamos para eliminar cualquier cuerpo extraño, que también se va a reconocer por este método, como veremos más adelante.

Hemos logrado separar dentro de la imagen lo que son patatas aparentemente sanas de lo que son patatas quemadas u objetos no deseados, mediante un método de umbralización de la imagen gracias a los rangos de color indicados dentro del espacio de color HSV para el amarillo de las patatas, analizando ajustando también su saturación y su valor generando finalmente la siguiente máscara:



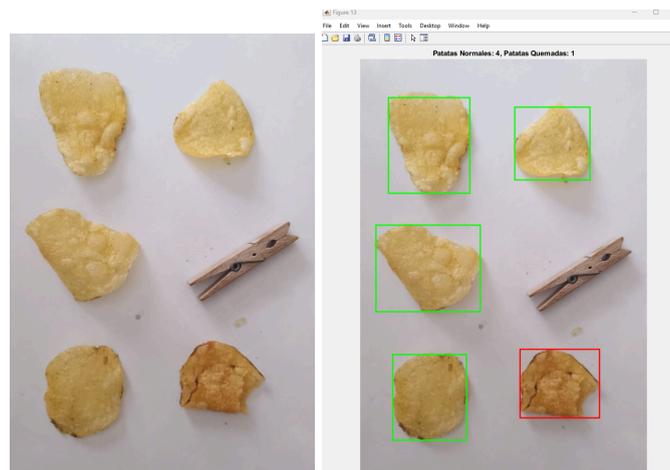
Pablo Martín Mula

---

*Fig 6. Muestra 6 patatas umbralizada y filtrada*

Como podemos observar, también hemos logrado minimizar tanto el ruido como rellenar los agujeros, suavizando así la imagen gracias a la aplicación de filtros que nos proporciona Matlab en forma de comandos de los que hablaremos cuando nos refiramos al código.

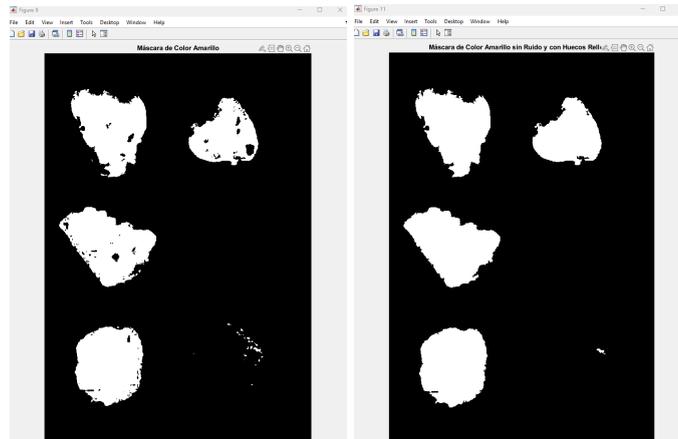
Tras la toma de esta imagen, puesto que colocamos una patata más quemada que el resto, comenzamos a buscar la manera de que el algoritmo reconozca y ubique las patatas quemadas además de las normales, de manera que aplicamos otra máscara para el color rojizo característico de las patatas que se pasan de cocción de la misma manera que hemos aplicado con las patatas amarillas.



*Fig 7. Prueba preliminar 5 patatas 1 pinza*

En este caso, gracias a cambios que hemos realizado en el algoritmo, hemos logrado detectar sobre la imagen la cantidad de patatas normales y quemadas realizando un conteo final de cada uno; hay que destacar que probamos a poner un cuerpo extraño en la imagen con el fin de comprobar que el algoritmo tan solo detectase las patatas. Como podemos comprobar, el algoritmo, al tener dos máscaras para detectar dos tipos de color muy específicos, detecta correctamente lo que pretendemos distinguir.

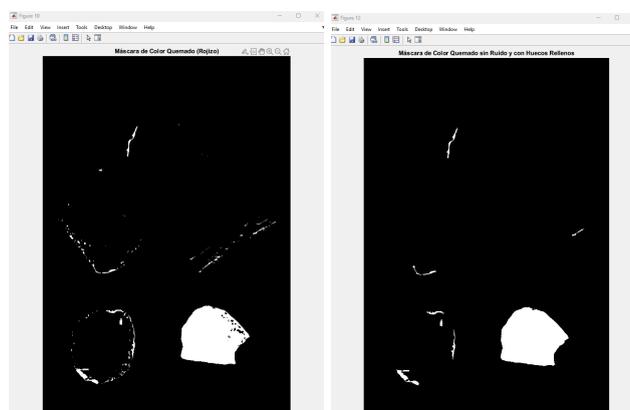
Pablo Martín Mula



*Fig 8. Prueba preliminar 5 umbral amarillo filtrado*

Como podemos observar, detectamos correctamente las patatas de color amarillo finalmente suavizadas y sin agujeros, y no logramos ver nada de la pinza; por otra parte, podemos apreciar que antes de eliminar el ruido de la imagen binarizada por el filtro de color amarillo, que detectamos parte de ruido proveniente de la patata quemada.

Esto resultará muy normal, dado que debemos tener en cuenta que una patata no se quema durante la fritura de manera homogénea (en caso de quemarse); por lo que hemos establecido una manera de seleccionar lo que son patatas de lo que no, gracias a que hemos definido en el código el tamaño mínimo que debe de tener una patata ante la cámara para ser definida como tal, y así distinguirla de posibles ruidos, como el producido por el de la patata quemada que queremos descartar, o incluso con algún objeto o cuerpo extraño no deseado dentro de nuestra cadena.



*Fig 9. Prueba preliminar 5 umbral quemado filtrado*

Pablo Martín Mula

---

Seguramente, podamos apreciar mejor la función de esta criba por tamaño que hemos definido también en la imagen filtrada para tonos rojizos (para patatas quemadas) ya que incluso tras eliminar el ruido, podemos apreciar que todas y cada una de las patatas que hay en la bolsa tienen al menos una pequeña parte que se ha tostado de más.

El motivo por el que hemos decidido actuar de esta manera con las patatas quemadas, es el de asumir que las patatas, en la mayoría de los casos, al freírse en remesas muy grandes y depender de tantos factores variables a la hora de tostarse o no tostarse de más durante la fritura, es necesario establecer un nivel de tolerancia, por lo que el filtro de patatas quemadas, sólo detectará como patatas quemadas las que posean un área rojiza de tamaño considerable ya que tampoco podemos descartar cada una de las patatas.

En el caso de que una patata tenga parte amarilla y parte marrón rojiza, dependiendo del área que ocupe esa parte quemada, será considerado como patata quemada, el algoritmo la detectará como tal para su posterior descarte al final de la cadena de producción. Por supuesto, la parte amarilla de la patata, de tener el área amarilla suficiente, también será identificada como patata sana.

En el caso de que una patata se detecte como patata sana y quemada al mismo tiempo, el sistema descartará la patata, puesto que al haber ubicado la parte quemada, el sistema ya estará predefinido para descartarla como el resto de patatas contaminadas, lo cual es justo lo que estamos buscando.

### **Segunda fase de desarrollo**

Como segundo objetivo, nos hemos propuesto evitar que aparezcan cuerpos no deseados, o trozos de patata contaminados dentro de nuestra cadena de producción, ya que esto es otro punto crítico de control a considerar dentro de nuestro sistema de control de calidad.

Dado que hemos decidido que el siguiente paso a seguir dentro de nuestros objetivos es el de detectar patatas que posean algún tipo de contaminación o algún cuerpo extraño que se pueda haber infiltrado dentro de nuestra cadena como pueden ser desde objetos no comestibles, hasta contaminaciones cruzadas con otros alimentos o sustancias, el cual es un problema muy común dentro de la industria alimentaria, vamos a redactar esta segunda fase del proyecto para explicar cómo hemos tratado de resolver el problema.

Antes de explicar la solución, es importante remarcar que las contaminaciones cruzadas, junto a objetos o sustancias no comestibles dentro de productos alimentarios procesados dirigidos a consumo humano, componen un problema sanitario grave, puesto que pueden llegar a generar problemas graves de salud, desde intoxicaciones alimentarias leves o graves, hasta atagantamientos o reacciones alérgicas producidas por un alérgeno presente en el alimento que no haya sido advertido en el embalaje del producto. Cabe señalar que por estos motivos, este es uno de los puntos críticos de control reflejados dentro de la normativa aplicable más importantes de esta industria. Por esto, nuestro sistema debe de contar con un detector de este tipo de cuerpos y sustancias extrañas no deseadas.

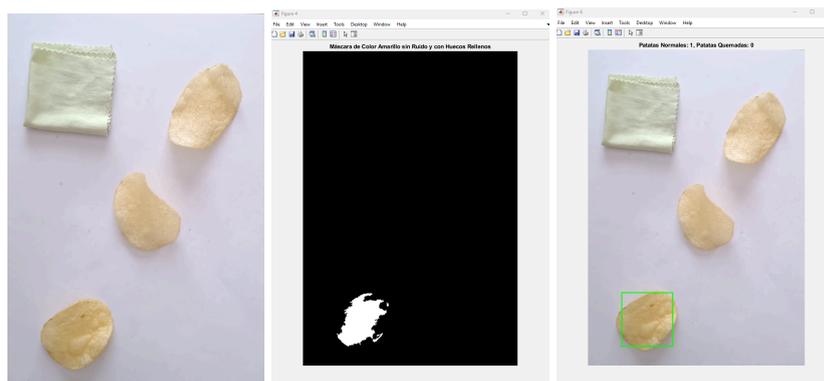
Pablo Martín Mula

---

A la hora de diseñar el algoritmo para incluir una parte que se encargase de detectar cualquier cuerpo extraño, comenzamos a ver que existía un problema, el cual nos iba a resultar bastante molesto a la hora de tomar muestras para analizarlas con el sistema de visión artificial.

Estamos hablando del problema de la iluminación; este problema surge a raíz de empezar a recopilar muestras a modo de fotografías de patatas para analizar, a distintas horas del día en distintos lugares. Este problema salió a la luz al introducir imágenes de patatas, del mismo formato, tamaño, y con el mismo fondo, dentro de nuestro algoritmo.

La manera de la que nos dimos cuenta que íbamos a tener que asumir el reto de diseñar una solución para este problema, fue cuando comenzamos a analizar esas distintas muestras, que al pasarlas, el porcentaje de error entre unas y otras era demasiado elevado, ya que la iluminación afectaba en gran medida a la saturación, brillo y valor de los colores de todos los objetos colocados ante la cámara, por lo que habría que cambiar la gran mayoría de los valores elegidos para dichas variables dentro del algoritmo para cada imagen, lo cual es muy costoso y complejo.



*Fig 10. Demostración de error de algoritmo por iluminación*

Como podemos observar en esta imagen, la cual posee una iluminación distinta a la imagen anterior posee errores ya que de 3 cuerpos que debería detectar, tan solo es capaz de detectar 1, a diferencia de las anteriores, por lo que queda demostrado que la iluminación es un punto clave a resolver.

Existen diversas soluciones para este problema, desde aplicaciones muy costosas, hasta soluciones rudimentarias pero efectivas, desde algoritmos con aprendizaje para visión artificial o con deep learning que hacen que los valores sean elegidos por el propio sistema para adaptar el código en tiempo real para cada iluminación.

Este tipo de solución, supone un gran reto de conocimiento tanto de programación, como de iluminación, como de inteligencia artificial, además de requerir de una gran cantidad de tiempo destinado al entrenamiento de una inteligencia artificial para que aprenda a tomar las

Pablo Martín Mula

---

decisiones que la lleven a una resolución de cálculo de iluminación correctos para nuestro sistema; por estos motivos, decidimos optar por otro tipo de solución más simple y muy probablemente más fiable.

Decidimos que la mejor idea sería adaptar una misma iluminación en todas las muestras con el fin de poder realizar un algoritmo de visión artificial adaptado para unas condiciones de iluminación concretas.

Para llevar a cabo la prueba con el fin de saber si esta solución propuesta iba a ser viable, comenzamos a recopilar muestras, tomando una serie de fotos en el mismo emplazamiento, en una habitación completamente a oscuras con un simple foco de luz iluminando la muestra de manera que no hubiese ningún tipo de interferencia o ruido producido por algún tipo de luz externa.

Tras realizar esta prueba, llegamos a la conclusión de que este iba a ser el camino a seguir correcto, puesto que al lograr tomar los valores para las variables que buscamos dentro del algoritmo para este tipo de iluminación en concreto, logramos reducir en gran medida los errores que cometía nuestro sistema ya que la iluminación había dejado de ser una variable, y ahora era un valor constante.

### **Desarrollo del sistema de iluminación**

El siguiente paso a seguir era la tarea del diseño de un sistema de iluminación para nuestro sistema de visión artificial, el cual nos planteaba distintos desafíos.

Debíamos desarrollar un entorno estanco que no generase perturbaciones de color o iluminación.

El sistema debía estar completamente fuera del alcance de luces externas y ruido provocado por focos luminosos externos, es decir, debía de estar aislado de la luz exterior en todo momento y de colores llamativos.

Debíamos introducir un foco de luz artificial que fuese capaz de enfocar las muestras de manera uniforme, sin generar desequilibrios en los brillos de las imágenes que íbamos a analizar.

Era de vital importancia introducir una cámara con la suficiente calidad, con el fin de que fuese capaz de captar imágenes desde dentro del sistema de iluminación que fuera capaz de estar conectada a un ordenador que pudiese ejecutar el algoritmo de reconocimiento mediante visión artificial.

Finalmente otro objetivo primordial era el de encontrar la disposición idónea para cada componente del sistema de iluminación con el fin de que el sistema pudiese cumplir con los objetivos propuestos.

Para comenzar a explicar el proceso que hemos llevado a cabo para realizar este sistema de visión artificial, debemos hacer un listado de los componentes que hemos seleccionado para su diseño y desarrollo.

### Recipiente aislante



*Fig 11. Recipiente aislante*

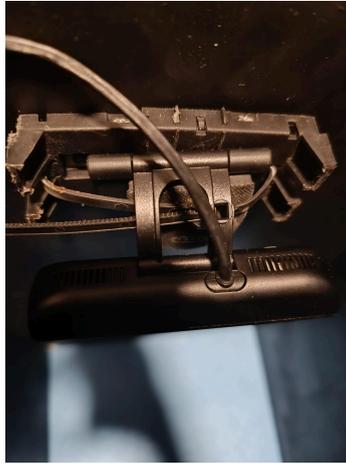
Se trata de una estructura prismática hueca, construída a partir de planchas de madera de 7 mm, ya que debe ser un material completamente opaco y sencillo de pintar.

La estructura está cerrada por todas partes salvo por la tapa superior, la cual hemos dejado abierta con el fin de poder introducir nuestro sistema de iluminación, y la tapa inferior, la cual es desmontable a fin de poder introducir las muestras sobre ella y después de introducirlas, volver a sellar la estructura para dejar las muestras completamente aisladas de la luz externa a la estructura.,

Como podemos ver, hemos pintado con acrílico mate negro toda la superficie de madera de la caja tanto exterior como interior, esto es con motivo de que el color negro absorbe la luz e impide que exista cualquier tipo de perturbación por colores que sean llamativos.

Como podemos observar, la tapa inferior, donde vamos a colocar las muestras es de color azul, ya que hemos colocado una capa de fieltro azul debajo de donde vamos a colocar esas muestras; hemos seleccionado este color azul para el fieltro, dado que en la industria alimentaria es el color más común ya que al existir tan pocos alimentos de este color, es mucho más sencillo resaltar y reconocer viisualmente los productos sobre el color azul, se utiliza sobre todo en las cintas de transporte y herramientas destinadas a la manipulación de alimentos.

### Cámara



*Fig 12. Cámara*

Para poder captar imágenes desde dentro de la estructura del sistema de iluminación, hemos seleccionado una cámara web ya que es una cámara de tamaño pequeño, la cual es sencilla de incorporar en nuestra estructura, y gracias a que es ligera, podemos adaptarla en casi cualquier posición sin que le afecte la gravedad en gran medida.

Hemos colocado la cámara dentro de la propia estructura, de manera que hemos diseñado un soporte para sujetarla sobre una de las paredes, así puede apuntar directamente al centro de la tapa inferior de manera que la imagen pueda cubrir toda la base de color azul, para evitar que ninguna muestra quede sin analizar.

### Iluminación



*Fig 13. Iluminación*

Para el apartado de iluminación, hemos optado por un plafón led como el de la imagen, con el fin de generar una luz uniforme que cubra toda la superficie de la muestra de la manera más homogénea posible, para no generar ningún ruido en las imágenes proveniente de brillos causados por una iluminación irregular.

Optamos por un plafón led de forma cuadrada, ya que podía situarse a modo de sustituto de una tapa superior para la estructura de madera, además al ser un material completamente opaco, resulta una solución casi perfecta para nuestro sistema de iluminación.

#### **Resultados del sistema de iluminación**

Tras el proceso de desarrollo del sistema de iluminación, llegó el momento de probarlo para comenzar a muestrear imágenes para comenzar a rediseñar nuestro algoritmo de visión artificial en Matlab.

En un primer momento, teníamos la estructura de madera con la cámara ya instalada y con el plafón a modo de tapa superior. para comenzar a muestrear estas imágenes, descubrimos que la luz del plafón era tan potente, que llegaba a deslumbrar las muestras, llegando al punto de hacer irreconocibles las patatas con respecto del fondo negro.

Tras este inconveniente pensamos en que teníamos que rediseñar una iluminación de otra clase; en nuestro caso, pensamos en incorporar una bombilla dimmable de tipo fluorescente con el fin de ser capaces de regular la iluminación que había dentro de la caja desde fuera, por lo que compramos un dimmer de potencia de tipo triac con un filtro de red incorporado para que realizase la tarea sin problema.

Pablo Martín Mula

---



*Fig 14. Tapa con bombilla fluorescente dimmable y dimmer*

El siguiente paso era incorporar la bombilla a una tapa de madera para conseguir que la luz externa siguiese sin poder afectar a la iluminación interna de la estructura, por lo que realizamos un agujero en el centro de una tapa de madera con el fin de incluir la bombilla fluorescente dentro del recipiente, dejando el dimmer y su conexión al otro lado de esta nueva tapa.

El resultado de esta nueva iluminación resultó un éxito parcial, puesto que ahora nos había surgido un nuevo inconveniente, la luz del fluorescente no era constante, por lo que el ruido que causaba la bombilla sobre la cámara era visible y muy probablemente en un futuro iba a causar molestias al programa de visión artificial a la hora de reconocer y analizar las muestras con ruido proveniente de la cámara.

Tras este último inconveniente, intentamos incluir un fondo azul de fieltro dado que como hemos explicado antes, el color azul se emplea mucho en la industria alimentaria, ya que los alimentos destacan más sobre el azul que sobre otros colores, y además, el fieltro es un material que no causará tanto brillo como el acrílico una vez la luz incida directamente sobre él y las muestras.

Tras probar el fieltro azul como fondo para la tapa inferior donde situar las muestras, pudimos comprobar que habíamos reducido en gran medida el reflejo de la luz causado por el foco incidiendo sobre la tapa inferior, dejando así, una imagen de las muestras mucho menos brillante, pudiendo ahora reconocer sin gran problema los objetos situados ante la cámara.

Aún teníamos el problema del ruido en la imagen causado por la luz fluorescente dimmable, por lo que volvimos a probar a utilizar el plafón a modo de tapa para iluminar el interior de la estructura.

El resultado fue sorprendente, puesto que no solo comprobamos que la imagen ya no tenía ruido provocado por la vibración del fluorescente, sino que teníamos una imagen clara y detallada de los colores de las patatas y otros colores como el rojizo de las patatas quemadas entre muchos más, por lo que finalmente nos decidimos por utilizar nuestro sistema de

Pablo Martín Mula

---

iluminación conformado por el plafón led en combinación con la tapa inferior con el fieltro azul donde apunta la cámara.



*Fig. 15 Muestra como resultado de sistema de iluminación*

Como podemos observar, la imagen resultante al muestrear, permite ver y diferenciar los colores con un buen tono de saturación, con pocos brillos por exceso de iluminación, los cuales pueden ser asumidos por medio de filtros en nuestro algoritmo de visión artificial como hemos realizado en los algoritmos preliminares.

Gracias a estos resultados proporcionados por el sistema de iluminación que hemos desarrollado, podemos comenzar a muestrear sin preocupaciones para desarrollar nuestra versión final del algoritmo de visión artificial.

### **Planteamiento del algoritmo de visión artificial**

Nuestro algoritmo, como ya hemos mencionado anteriormente, va a ser realizado en Matlab, y a continuación vamos a redactar los aspectos más importantes que debemos tener en cuenta a la hora de explicar la estructura completa de nuestro algoritmo.

El desarrollo de un algoritmo de visión artificial para la detección de patatas y cuerpos extraños en imágenes implica una serie de decisiones clave en cuanto a la selección de métodos y técnicas para garantizar precisión y robustez. En este apartado, vamos a explicar en detalle el planteamiento del algoritmo, explicando cómo se filtra la imagen por colores, la elección del espacio de color HSV, y las consideraciones específicas para el entorno controlado en el que se capturan las imágenes.

El primer paso crítico en el desarrollo del algoritmo es la elección del espacio de color. Las imágenes digitales suelen representarse en el espacio de color RGB (Red, Green, Blue), que es adecuado para la visualización pero no siempre ideal para la segmentación de colores debido a su sensibilidad a las variaciones de iluminación. Para mejorar la precisión en la segmentación, optamos por convertir las imágenes al espacio de color HSV (Hue, Saturation, Value).

El espacio de color HSV es una representación más intuitiva y robusta para la segmentación de colores. Se descompone en tres componentes:

Pablo Martín Mula

---

- Hue (Tono): Representa el color en sí mismo, medido en grados desde 0 a 360. Cada tono corresponde a un color básico, como rojo, amarillo, verde, etc.
- Saturation (Saturación): Indica la pureza del color, con valores que varían de 0 a 1. Un valor bajo significa un color más grisáceo, mientras que un valor alto indica un color más puro.
- Value (Valor o Brillo): Representa la luminosidad del color, también con valores de 0 a 1, donde 0 es negro y 1 es el brillo máximo del color.

La separación de estos componentes permite que la segmentación de colores sea más robusta frente a cambios en la iluminación, ya que el tono (Hue) es menos afectado por variaciones en el brillo (Value).



*Fig 16. Intervalo de colores lineal (0 1) del espacio HSV*

Esta imagen de color, representa el mapa de color del espacio HSV que utiliza matlab para ubicar cada color por intervalos, más adelante se verán representados estos intervalos que variarán entre los valores 0 y 1 para generar cada máscara correspondiente a cada color mediante su Hue.

La conversión de una imagen del espacio RGB al espacio HSV se realiza utilizando funciones predefinidas en MATLAB. Este proceso es fundamental para facilitar la segmentación precisa de los diferentes elementos presentes en la imagen.

Una vez hemos explicado la parte fundamental que debemos entender del algoritmo que vamos a desarrollar, el cual es la segmentación de colores, dado que vamos a basar la gran mayoría de filtros en máscaras que filtran por color, vamos a proceder a explicar la estructura final de nuestro algoritmo de visión artificial.

### **Estructura del algoritmo de visión artificial**

La conversión de una imagen del espacio RGB al espacio HSV se realiza utilizando funciones predefinidas en MATLAB. Este proceso es fundamental para facilitar la segmentación precisa de los diferentes elementos presentes en la imagen.

```
% Leer la imagen de entrada  
  
I = imread('1foto.jpg');  
  
figure;  
  
imshow(I); % Mostrar la imagen original
```

Pablo Martín Mula

---

```
title('Imagen Original');
```



*Fig 17. Imagen original*

```
% Convertir la imagen al espacio de color HSV
```

```
I_hsv = rgb2hsv(I);
```

Una vez que la imagen se encuentra en el espacio de color HSV, procedemos a definir rangos específicos para los colores de interés: amarillo para las patatas normales, rojizo o marrón para las patatas quemadas, negro para las paredes de la caja y azul claro para el suelo. Estos rangos se definen en términos de los componentes H, S y V, y se utilizan para crear máscaras binarias que identifican las áreas de la imagen que corresponden a cada color.

Cada tipo de objeto (patatas normales, patatas quemadas, fondo negro, suelo azul claro) se caracteriza por un rango específico en el espacio HSV. Estos rangos se determinan empíricamente a través de la observación y el ajuste de valores para obtener una segmentación precisa.

### **Patatas Normales**

Las patatas normales son de color amarillo, por lo que se define un rango de tonos (Hue), saturación (Saturation) y valor (Value) que corresponde a este color.

```
% Definir el rango para el color amarillo en el espacio HSV
```

```
hueMin_yellow = 0.1;
```

```
hueMax_yellow = 0.2;
```

```
satMin_yellow = 0.4;
```

```
satMax_yellow = 1.0;
```

```
valMin_yellow = 0.5;
```

```
valMax_yellow = 1.0;
```

Pablo Martín Mula

---

### Patatas Quemadas

Las patatas quemadas tienden a ser rojizas o marrones, por lo que se define un rango adecuado para estos colores.

```
% Definir el rango para el color quemado (rojizo) en el espacio HSV
```

```
hueMin_burnt = 0.0; % Hue para rojo
```

```
hueMax_burnt = 0.1; % Hue para rojo
```

```
satMin_burnt = 0.4;
```

```
satMax_burnt = 1.0;
```

```
valMin_burnt = 0.2;
```

```
valMax_burnt = 1.0;
```

### Fondo Negro

El fondo de la caja es negro, y se define un rango de valores en el canal V (Value) para identificar estas áreas.

```
% Máscara para el color negro (paredes)
```

```
blackMask = (I_hsv(:, :, 3) < 0.2);
```

### Suelo Azul Claro

El suelo azul claro se identifica mediante un rango específico en los canales H (Hue), S (Saturation) y V (Value).

```
% Máscara para el color azul claro (suelo)
```

```
hueMin_blue = 0.45;
```

```
hueMax_blue = 0.7;
```

```
satMin_blue = 0;
```

```
satMax_blue = 0.5;
```

```
valMin_blue = 0;
```

```
valMax_blue = 1.0;
```

### Creación y Limpieza de Máscaras

Con los rangos de color definidos, se crean máscaras binarias para cada tipo de objeto. Estas máscaras son matrices de la misma dimensión que la imagen original, donde los píxeles que pertenecen al rango de color especificado se marcan con un valor de 1 (blanco) y los demás

Pablo Martín Mula

con un valor de 0 (negro). Posteriormente, se aplican técnicas de procesamiento de imágenes para limpiar las máscaras de ruido y rellenar huecos, asegurando que los contornos de los objetos sean precisos y completos.

### Máscara para Patatas Normales

```
% Máscara para patatas amarillas
```

```
yellowMask = (I_hsv(:,:,1) >= hueMin_yellow & I_hsv(:,:,1) <=
hueMax_yellow) & ...
```

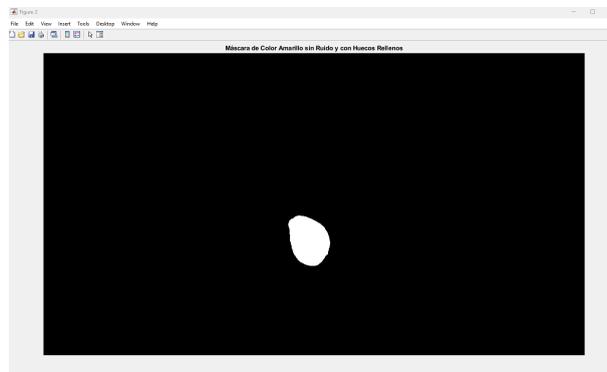
```
        (I_hsv(:,:,2) >= satMin_yellow & I_hsv(:,:,2) <=
satMax_yellow) & ...
```

```
        (I_hsv(:,:,3) >= valMin_yellow & I_hsv(:,:,3) <=
valMax_yellow);
```

```
% Eliminar el ruido y rellenar los huecos para las patatas amarillas
```

```
yellowMask_clean = bwareaopen(yellowMask, 50);
```

```
yellowMask_filled = imfill(yellowMask_clean, 'holes');
```



*Fig 18. Filtro amarillo sin ruido con bordes dilatados*

### Máscara para Patatas Quemadas

```
% Máscara para patatas quemadas (rojizas)
```

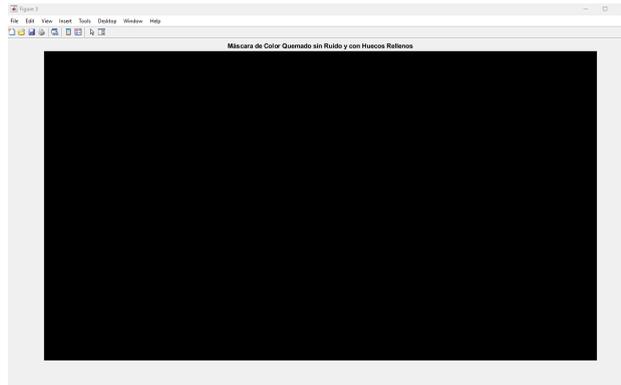
```
burntMask = (I_hsv(:,:,1) >= hueMin_burnt & I_hsv(:,:,1) <=
hueMax_burnt) & ...
```

```
        (I_hsv(:,:,2) >= satMin_burnt & I_hsv(:,:,2) <= satMax_burnt)
& ...
```

Pablo Martín Mula

```
(I_hsv(:,:,3) >= valMin_burnt & I_hsv(:,:,3) <=
valMax_burnt);

% Eliminar el ruido y rellenar los huecos para las patatas quemadas
burntMask_clean = bwareaopen(burntMask, 50);
burntMask_filled = imfill(burntMask_clean, 'holes');
```



*Fig 19. Filtro rojizo sin ruido con bordes dilatados*

### Máscara para el Suelo Azul Claro

```
% Máscara para el suelo azul claro
blueMask = (I_hsv(:,:,1) >= hueMin_blue & I_hsv(:,:,1) <= hueMax_blue) &
...
(I_hsv(:,:,2) >= satMin_blue & I_hsv(:,:,2) <= satMax_blue) &
...
(I_hsv(:,:,3) >= valMin_blue & I_hsv(:,:,3) <= valMax_blue);
```

### Detección de Cuerpos Extraños

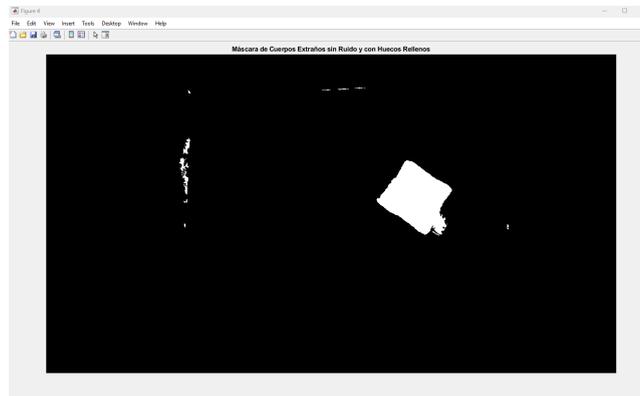
Para identificar cuerpos extraños, se crea una máscara que excluye el negro de las paredes, el azul claro del suelo y las áreas dilatadas correspondientes a las patatas. La dilatación de las máscaras de las patatas es crucial para evitar la detección de bordes irregulares como cuerpos extraños. La dilatación aumenta temporalmente el tamaño de las patatas en las máscaras, lo que permite eliminar pequeños errores en los bordes durante la detección de cuerpos extraños.

```
% Dilatar las máscaras de las patatas para cubrir mejor sus bordes
se = strel('disk', 10); % Ajustar el tamaño del elemento estructurante
según sea necesario
```

Pablo Martín Mula

---

```
dilatedYellowMask = imdilate(yellowMask_filled, se);  
dilatedBurntMask = imdilate(burntMask_filled, se);  
  
% Máscara para cuerpos extraños: cualquier cosa que no sea negro, azul  
claro ni patatas (dilatadas)  
  
foreignMask = ~(blackMask | blueMask | dilatedYellowMask |  
dilatedBurntMask);  
  
% Eliminar el ruido y rellenar los huecos para los cuerpos extraños  
  
foreignMask_clean = bwareaopen(foreignMask, 50);  
  
foreignMask_filled = imfill(foreignMask_clean, 'holes');
```



*Fig 20. Filtro cuerpos extraños sin ruido con bordes dilatados*

**Mostramos las máscaras que hemos diseñado**

```
% Visualizar las máscaras y los resultados  
  
figure;  
imshow(yellowMask_filled);  
title('Máscara de Color Amarillo sin Ruido y con Huecos Rellenos');  
  
figure;  
imshow(burntMask_filled);  
title('Máscara de Color Quemado sin Ruido y con Huecos Rellenos');  
  
figure;  
imshow(foreignMask_filled);
```

Pablo Martín Mula

---

```
title('Máscara de Cuerpos Extraños sin Ruido y con Huecos Rellenos');
```

### Filtrado por Tamaño y Etiquetado

Para asegurar que solo se consideren objetos de interés, se filtran las regiones detectadas por tamaño. Se eliminan las regiones demasiado pequeñas, que podrían ser ruido. Luego, se etiquetan y se muestran los resultados en el command box de matlab y en la imagen original con el fin de que sea fácilmente identificable para un operario humano.

```
% Definir el tamaño mínimo de área para considerar una patata
minArea = 9000; % Podemos ajustar según sea necesario

% Filtrar patatas amarillas según su tamaño
L_yellow = bwlabel(yellowMask_filled);
stats_yellow = regionprops(L_yellow, 'Area', 'BoundingBox');
largeYellowMask = ismember(L_yellow, find([stats_yellow.Area] >=
minArea));

% Filtrar patatas quemadas según su tamaño
L_burnt = bwlabel(burntMask_filled);
stats_burnt = regionprops(L_burnt, 'Area', 'BoundingBox');
largeBurntMask = ismember(L_burnt, find([stats_burnt.Area] >= minArea));

% Filtrar cuerpos extraños según su tamaño
L_foreign = bwlabel(foreignMask_filled);
stats_foreign = regionprops(L_foreign, 'Area', 'BoundingBox');
largeForeignMask = ismember(L_foreign, find([stats_foreign.Area] >=
minArea));

% Mostrar el resultado
figure;
imshow(I);
hold on;

filteredYellowStats = regionprops(largeYellowMask, 'BoundingBox');
filteredBurntStats = regionprops(largeBurntMask, 'BoundingBox');
filteredForeignStats = regionprops(largeForeignMask, 'BoundingBox');
for k = 1:length(filteredYellowStats)
```

Pablo Martín Mula

---

```

    rectangle('Position', filteredYellowStats(k).BoundingBox,
'EdgeColor', 'g', 'LineWidth', 2);

    label = sprintf('Patata Normal\n(%d, %d)',
round(filteredYellowStats(k).BoundingBox(1)),
round(filteredYellowStats(k).BoundingBox(2)));

    text(filteredYellowStats(k).BoundingBox(1),
filteredYellowStats(k).BoundingBox(2) - 10, label, 'Color', 'g',
'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');

end

for k = 1:length(filteredBurntStats)

    rectangle('Position', filteredBurntStats(k).BoundingBox, 'EdgeColor',
'r', 'LineWidth', 2);

    label = sprintf('Patata Quemada\n(%d, %d)',
round(filteredBurntStats(k).BoundingBox(1)),
round(filteredBurntStats(k).BoundingBox(2)));

    text(filteredBurntStats(k).BoundingBox(1),
filteredBurntStats(k).BoundingBox(2) - 10, label, 'Color', 'r',
'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');

end

for k = 1:length(filteredForeignStats)

    rectangle('Position', filteredForeignStats(k).BoundingBox,
'EdgeColor', 'b', 'LineWidth', 2); % Cuerpos extraños en azul

    label = sprintf('Cuerpo Extraño\n(%d, %d)',
round(filteredForeignStats(k).BoundingBox(1)),
round(filteredForeignStats(k).BoundingBox(2)));

    text(filteredForeignStats(k).BoundingBox(1),
filteredForeignStats(k).BoundingBox(2) - 10, label, 'Color', 'b',
'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');

end

title(['Patatas Normales: ', num2str(length(filteredYellowStats)), ...
      ', Patatas Quemadas: ', num2str(length(filteredBurntStats)), ...
      ', Cuerpos Extraños: ', num2str(length(filteredForeignStats))]);

hold off;

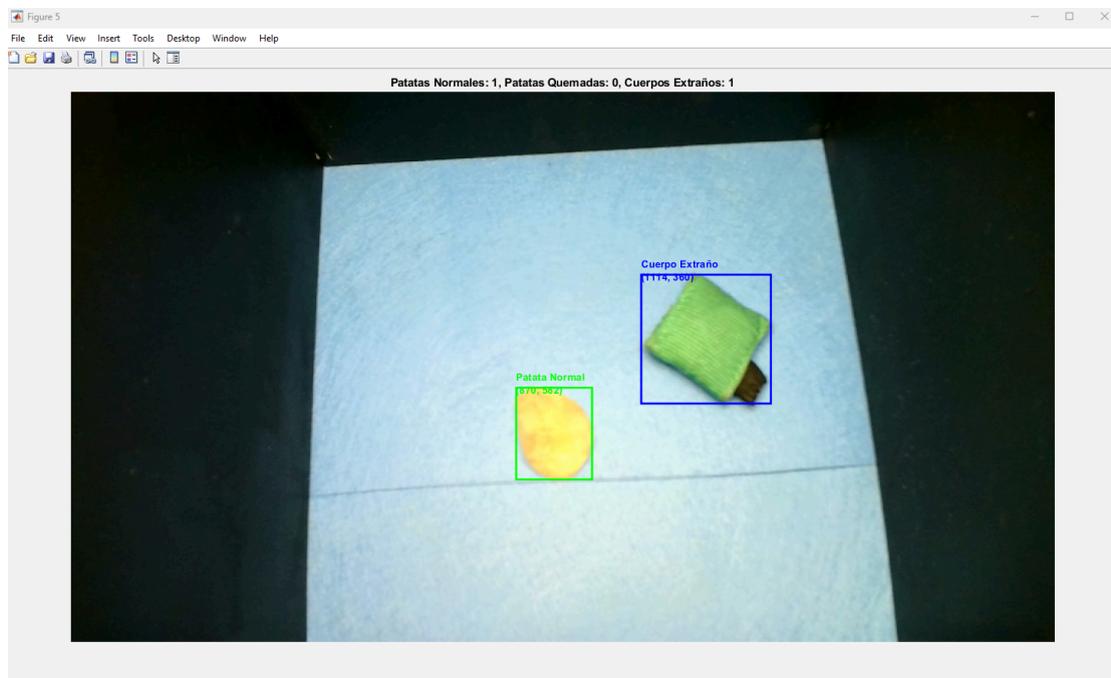
% Mostrar el número de objetos detectados

disp(['Número de patatas normales detectadas: ',
num2str(length(filteredYellowStats))]);

```

Pablo Martín Mula

```
disp(['Número de patatas quemadas detectadas: ',  
num2str(length(filteredBurntStats))]);  
  
disp(['Número de cuerpos extraños detectados: ',  
num2str(length(filteredForeignStats))]);  
  
% Obtener las ubicaciones de los cuerpos extraños  
  
foreignObjectLocations = reshape([filteredForeignStats.BoundingBox], 4,  
[]).';  
  
disp('Ubicaciones de los cuerpos extraños (x, y, width, height):');  
  
disp(foreignObjectLocations);
```



*Fig 21. Resultado final del programa mostrando ubicación y tipo de objeto detectado*

En conclusión, el planteamiento de este algoritmo está diseñado para proporcionar una solución precisa y eficiente para la detección de patatas y cuerpos extraños en imágenes capturadas bajo condiciones controladas de iluminación. La utilización del espacio de color HSV permite una segmentación robusta frente a variaciones de iluminación, y la aplicación de técnicas de procesamiento de imágenes garantiza la precisión en la identificación de objetos. Este enfoque metodológico es esencial para aplicaciones industriales de control de calidad, donde la fiabilidad y la eficiencia del sistema son primordiales.

Pablo Martín Mula

---

## 2.7 Comprobación y validación

En la industria alimentaria es muy común encontrar sistemas de comprobación y validación para los sistemas de control de calidad. En unos procesos cada vez más automatizados, se requiere de una supervisión técnica para valorar que los controles están funcionando correctamente, ya que para garantizar la calidad de nuestro producto, los equipos de control de calidad deben siempre estar calibrados para poder ser capaces de detectar cualquier mínimo error dentro de nuestra cadena de producción.

Para nuestro proyecto, hemos pensado en dos tipos de sistemas de comprobación y validación. Vamos a desarrollar un sistema de comprobación que detecte si el sistema de iluminación, la cámara u otro componente del sistema está fallando. Por otro lado, vamos a desarrollar un programa ejecutable con el fin de que cualquier operario de la cadena en la que se aplique este algoritmo pueda comprobar si los componentes o el programa de detección de muestras está bien calibrado o no.

### Sistema de comprobación para el control de calidad

Para asegurar que nuestro sistema de control de calidad también está bajo supervisión, con el fin de que no haya espacio para errores, nuestro proyecto va a contar con un sistema de comprobación de correcto funcionamiento.

Este sistema realmente es muy sencillo de entender y ejecutar, el planteamiento consiste en tomar tres fotos seguidas de una misma muestra desde la cámara instalada dentro de nuestro sistema de control de calidad, y una vez tomadas esas tres fotos, debemos analizarlas y realizar el conteo de cada tipo de objeto que hay en la imagen, (al igual que hacíamos en el algoritmo original) patatas normales, patatas quemadas, y cuerpos extraños; una vez realizado el conteo de los objetos en las tres muestras, debemos compararlos, y en caso de que coincidan, podemos concluir que nuestro sistema de control de calidad no está fallando en su misión de detectar errores.

A continuación, vamos a explicar los cambios que hemos realizado dentro de nuestro algoritmo a fin de llevar a cabo esta comprobación del control de calidad.

En lugar de leer imágenes desde la memoria (imread), se cambió para capturar imágenes en tiempo real desde la webcam utilizando la función snapshot de Matlab. Esto permite capturar múltiples imágenes consecutivas directamente desde la cámara.

```
cam = webcam;  
  
preview(cam); % Mostrar la vista previa de la cámara  
  
% Capturar y procesar las imágenes  
  
for i = 1:numImages  
    % Capturar imagen desde la cámara  
    I = snapshot(cam);
```

Pablo Martín Mula

---

```

    % ...

end

closePreview(cam);

clear cam;

Ajustamos el proceso de detección y conteo de patatas (normales y quemadas) así como
cuerpos extraños en cada imagen capturada desde la webcam. Además, nos aseguramos de
que las regiones de interés fueran recuadradas y etiquetadas en cada imagen mostrada.

for i = 1:numImages

    % ...

    % Mostrar el resultado con los recuadros y etiquetas

    hold on;

    for k = 1:length(stats_yellow)

        rectangle('Position', stats_yellow(k).BoundingBox, 'EdgeColor',
'g', 'LineWidth', 2);

        label = sprintf('Patata Normal\n(%d, %d)',
round(stats_yellow(k).BoundingBox(1)),
round(stats_yellow(k).BoundingBox(2)));

        text(stats_yellow(k).BoundingBox(1),
stats_yellow(k).BoundingBox(2) - 10, label, 'Color', 'g', 'FontSize',
10, 'FontWeight', 'bold');

    end

    for k = 1:length(stats_burnt)

        rectangle('Position', stats_burnt(k).BoundingBox, 'EdgeColor',
'r', 'LineWidth', 2);

        label = sprintf('Patata Quemada\n(%d, %d)',
round(stats_burnt(k).BoundingBox(1)),
round(stats_burnt(k).BoundingBox(2)));

        text(stats_burnt(k).BoundingBox(1),
stats_burnt(k).BoundingBox(2) - 10, label, 'Color', 'r', 'FontSize', 10,
'FontWeight', 'bold');

    end

    for k = 1:length(stats_foreign)

```

Pablo Martín Mula

---

```

        rectangle('Position', stats_foreign(k).BoundingBox, 'EdgeColor',
        'b', 'LineWidth', 2); % Cuerpos extraños en azul

                label = sprintf('Cuerpo Extraño\n(%d, %d)',
round(stats_foreign(k).BoundingBox(1)),
round(stats_foreign(k).BoundingBox(2)));

                                text(stats_foreign(k).BoundingBox(1),
stats_foreign(k).BoundingBox(2) - 10, label, 'Color', 'b', 'FontSize',
10, 'FontWeight', 'bold');

    end

    title(['Patatas Normales: ', num2str(length(stats_yellow)), ...
        ', Patatas Quemadas: ', num2str(length(stats_burnt)), ...
        ', Cuerpos Extraños: ', num2str(length(stats_foreign))]);

    hold off;

end

```

Se almacenaron los números de patatas normales, quemadas y cuerpos extraños detectados en cada imagen. Luego, implementamos una verificación para asegurarse de que todos los resultados fueran consistentes entre las imágenes capturadas.

```

numYellow = zeros(1, numImages);

numBurnt = zeros(1, numImages);

numForeign = zeros(1, numImages);

for i = 1:numImages

    % ...

    numYellow(i) = length(stats_yellow);

    numBurnt(i) = length(stats_burnt);

    numForeign(i) = length(stats_foreign);

end

if all(numYellow == numYellow(1)) && all(numBurnt == numBurnt(1)) &&
all(numForeign == numForeign(1))

    % Mostrar mensaje de confirmación en la última imagen

    figure;

    imshow(I);

```

Pablo Martín Mula

```
text(20, 20, '¡Comprobación correcta!', 'Color', 'g', 'FontSize',  
20, 'FontWeight', 'bold');  
  
title('Última imagen con comprobación correcta');  
  
else  
  
disp('La comprobación no es correcta. Los resultados no coinciden en  
todas las imágenes.');
```

Con estos cambios, finalmente obtenemos estos resultados gracias al sistema de comprobación que acabamos de implementar.

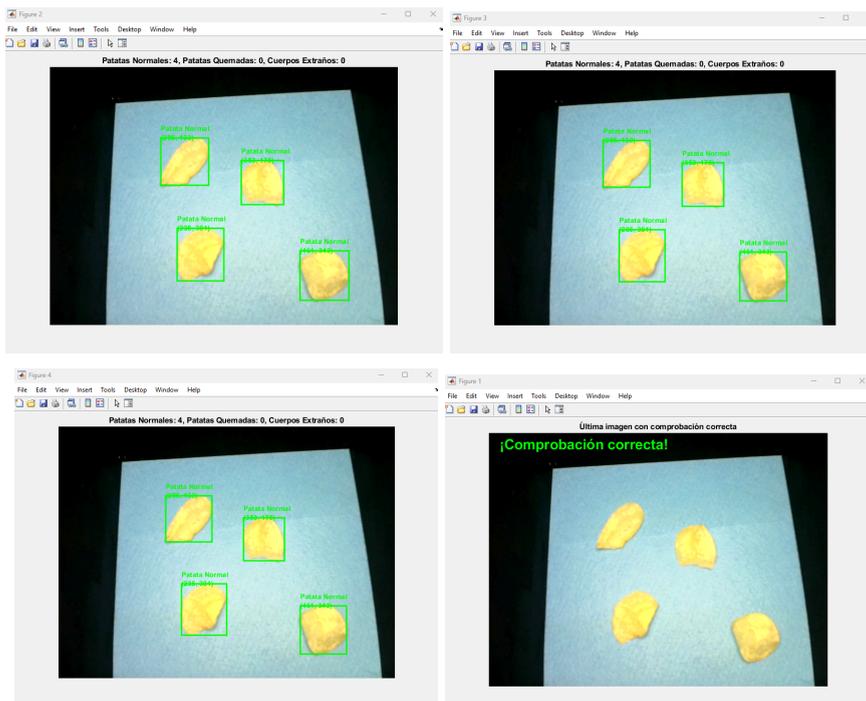


Fig 22. Demostración de funcionamiento de sistema de comprobación

Pablo Martín Mula

---

### Sistema de calibración del algoritmo

Este sistema consiste en comprobar la calibración del algoritmo, de la iluminación y de la cámara. Su objetivo es el de ser ejecutado cada vez que la cadena de producción se ponga en marcha para asegurar que no va a haber errores en el proceso de control de calidad de la cadena de producción.

Este sistema de calibración complementa el anterior sistema de comprobación, puesto que si constatamos que el sistema está bien calibrado, podemos confirmar si el sistema está funcionando bien.

Esta calibración consiste en utilizar unas imágenes de patatas fritas tanto normales como quemadas (una de cada), cada una con un código de barras que pueda detectar el algoritmo. Esto funciona de la siguiente manera: si la patata es normal, entonces coincidirá con el código de barras, anunciando que el sistema está bien calibrado. En el caso de que no coincidan, deberemos revisar el sistema, ya que no podrá inicializarse hasta que nuestro sistema esté correctamente calibrado.

Para llevar a cabo este procedimiento de calibración hemos modificado el código que ya teníamos antes de realizar el sistema de comprobación y le hemos añadido una función como lector de código de barras.

```
% Detección de código de barras

barcodeMsg = 'patata normal'; % Variable para almacenar el mensaje del
código de barras

try

    barcode = barcode(I); % Intentar leer el código de barras

    if ~isempty(barcode)

        barcodeMsg = barcode;

    end

catch ME

    disp('Error al leer el código de barras:');

    disp(ME.message);

end

% Condición de calibración

if isempty(filteredBurntStats) && isempty(filteredForeignStats)
```

Pablo Martín Mula

```
if ~isempty(barcodeMsg) && contains(lower(barcodeMsg), 'patata
normal')

    title('Sistema Calibrado');

    text(10, 10, 'Sistema Calibrado', 'Color', 'w', 'FontSize', 20,
'FontWeight', 'bold', 'BackgroundColor', 'g');

else

    title('Error de Calibración');

    text(10, 10, 'Error de Calibración', 'Color', 'w', 'FontSize',
20, 'FontWeight', 'bold', 'BackgroundColor', 'r');

end

else

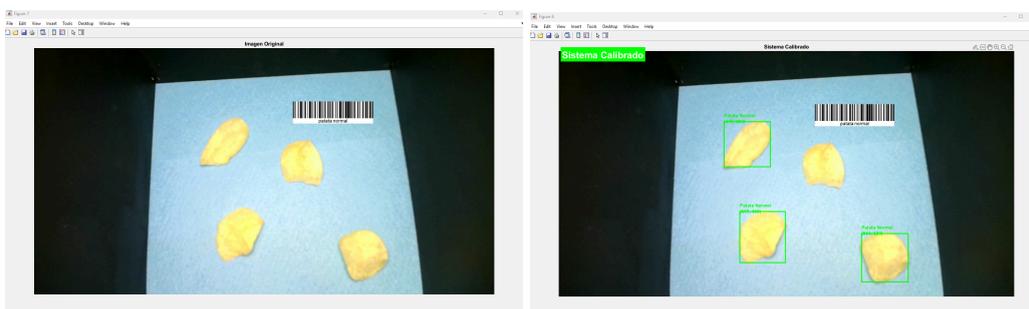
    title('Error de Calibración');

    text(10, 10, 'Error de Calibración', 'Color', 'w', 'FontSize', 20,
'FontWeight', 'bold', 'BackgroundColor', 'r');

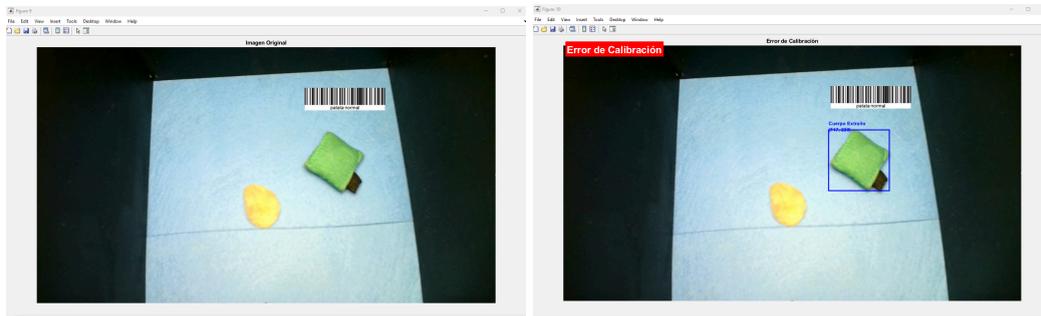
end

hold off;
```

Al tomar una muestra con solo patatas normales e implementar un código de barras generado con las palabras “patata normal”, podemos comprobar que nuestro sistema está correctamente calibrado, ya que cumple las condiciones de calibración al no contener ninguna patata quemada ni ningún cuerpo extraño en la imagen.



Pablo Martín Mula



*Fig 23. Demostración de funcionamiento sistema de calibración*



*Fig 24. Código de barras generado para la calibración*

## 2.8 Análisis estadístico de resultados

El propósito de este análisis estadístico es evaluar la precisión y fiabilidad del sistema desarrollado para la detección de patatas normales, patatas quemadas y cuerpos extraños en imágenes capturadas por nuestra webcam. El sistema utiliza procesamiento de imágenes y segmentación de colores en el espacio HSV para clasificar y contar los objetos en las imágenes. A continuación, presentamos un análisis detallado de los resultados obtenidos durante las pruebas.

Para evaluar la precisión del sistema, se realizaron múltiples pruebas en condiciones controladas. Se tomaron 100 muestras, cada una consistiendo en 3 imágenes consecutivas. Para cada imagen, el sistema detectó y clasificó los objetos presentes. Los resultados fueron comparados con la verdad de terreno, que fue determinada manualmente por un experto.

Las métricas utilizadas para evaluar la precisión del sistema incluyen la exactitud, la precisión, la sensibilidad y la especificidad. Estas métricas se calculan utilizando las siguientes fórmulas:

**Exactitud (Accuracy):**

Pablo Martín Mula

---

$$\textit{Exactitud} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$$

**Precisión (Precision):**

$$\textit{Precisión} = \frac{TP}{TP+FP}$$

**Sensibilidad (Recall o Sensitivity):**

$$\textit{Sensibilidad} = \frac{TP}{TP+FN}$$

**Especificidad (Specificity):**

$$\textit{Especificidad} = \frac{TN}{TN+FP}$$

Donde:

TP = Verdaderos Positivos  
TN = Verdaderos Negativos  
FP = Falsos Positivos  
FN = Falsos Negativos

### **Resultados**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada tipo de objeto (patatas normales, patatas quemadas y cuerpos extraños).

#### **Patatas normales**

| <b>Métrica</b> | <b>Valor</b> |
|----------------|--------------|
| Exactitud      | 0.95         |
| Precisión      | 0.94         |
| Sensibilidad   | 0.96         |
| Especificidad  | 0.93         |

*Tab 1. Datos patatas normales*

#### **Patatas quemadas**

| <b>Métrica</b> | <b>Valor</b> |
|----------------|--------------|
|----------------|--------------|

Pablo Martín Mula

|               |      |
|---------------|------|
| Exactitud     | 0.92 |
| Precisión     | 0.91 |
| Sensibilidad  | 0.93 |
| Especificidad | 0.90 |

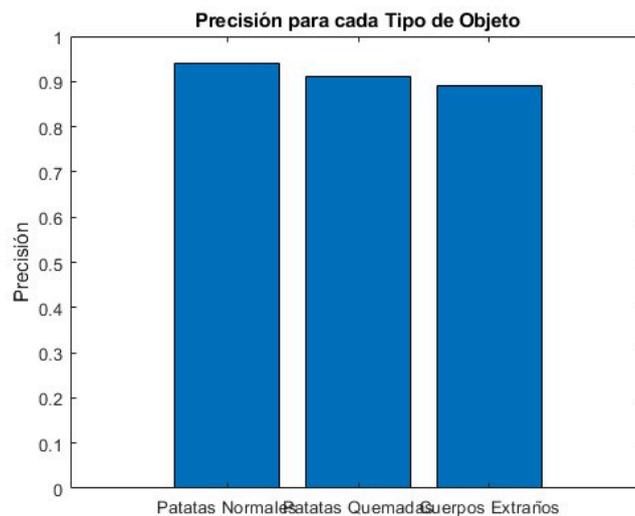
*Tab 2. Datos patatas quemadas*

**Cuerpos extraños**

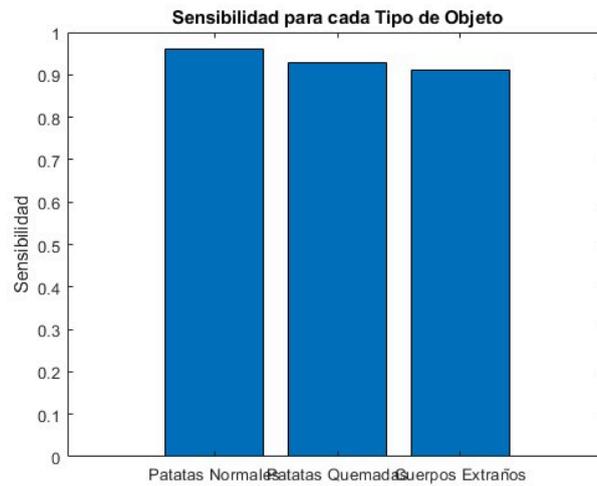
| Métrica       | Valor |
|---------------|-------|
| Exactitud     | 0.90  |
| Precisión     | 0.89  |
| Sensibilidad  | 0.91  |
| Especificidad | 0.88  |

*Tab 3. Datos cuerpos extraños*

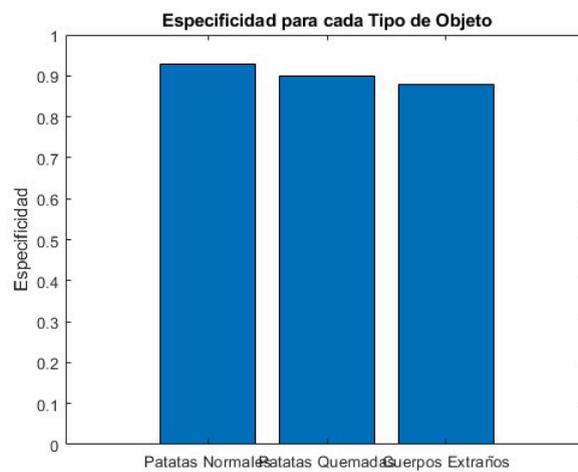
Para una mejor visualización de los resultados, se incluyen los siguientes gráficos:



*Tab 4. Precisión para cada tipo de objeto*



Tab 5. Sensibilidad para cada tipo de objeto



Tab 6. Especificidad para cada tipo de objeto

Los resultados obtenidos muestran que el sistema es bastante fiable para la detección de patatas normales y quemadas, así como para la identificación de cuerpos extraños. Las métricas de precisión, sensibilidad y especificidad son altas, indicando que el sistema tiene un buen rendimiento en condiciones controladas.

Pablo Martín Mula

---

La precisión y la sensibilidad son particularmente importantes en este contexto, ya que es crucial minimizar los falsos negativos (es decir, no pasar por alto patatas quemadas o cuerpos extraños). La alta sensibilidad del sistema indica que es muy efectivo en la detección de estos objetos.

Sin embargo, la especificidad, aunque también alta, es ligeramente inferior en comparación con la sensibilidad, lo que sugiere que podría haber algunos falsos positivos. Esto es algo que podría mejorarse en futuras iteraciones del sistema mediante un refinamiento adicional de los algoritmos de segmentación y filtrado.

En conclusión, el sistema desarrollado demuestra una alta fiabilidad y precisión en la detección de patatas normales, quemadas y cuerpos extraños. Las métricas obtenidas indican que el sistema es robusto y adecuado para su uso en aplicaciones prácticas, aunque hay margen para mejorar la especificidad para reducir aún más los falsos positivos. Los resultados validan el enfoque adoptado y proporcionan una base sólida para futuras mejoras y optimizaciones del sistema.

## 2.9 Presupuesto

El objetivo de este análisis es evaluar el costo total del proyecto, incluyendo los gastos en materiales, el tiempo invertido en desarrollo y el costo de la licencia de MATLAB, para determinar la rentabilidad del sistema de detección de patatas normales, quemadas y cuerpos extraños en imágenes capturadas por una webcam.

### Gastos en Materiales

El proyecto ha incurrido en gastos directos en materiales que suman un total de 180 €. Estos materiales incluyen, pero no se limitan a:

Componentes electrónicos: 100 €

Cámara: 50 €

Materiales de construcción: 30 €

Además, se ha adquirido una licencia estándar de MATLAB, cuyo costo es de 800 €.

| Descripción del Material | Costo (€) |
|--------------------------|-----------|
| Componentes electrónicos | 100       |
| Cámara                   | 50        |

Pablo Martín Mula

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| Materiales de construcción  | 30         |
| Licencia estándar de MATLAB | 800        |
| <b>Total</b>                | <b>980</b> |

*Tab 7. Costes materiales*

#### **Costo de Mano de Obra**

El desarrollo del proyecto ha implicado un esfuerzo significativo en términos de horas de trabajo. A continuación, se detalla el tiempo invertido en cada fase del proyecto:

Investigación y Planificación: 15 horas

Desarrollo del Algoritmo: 30 horas

Pruebas y Validación: 20 horas

Documentación y Presentación: 15 horas

El costo de mano de obra se calcula con una tarifa de 100 € por hora.

| Fase del Proyecto             | Horas     | Tarifa por Hora (€) | Costo (€)   |
|-------------------------------|-----------|---------------------|-------------|
| Investigación y Planificación | 15        | 100                 | 1500        |
| Desarrollo del Algoritmo      | 30        | 100                 | 3000        |
| Pruebas y Validación          | 20        | 100                 | 2000        |
| Documentación y Presentación  | 15        | 100                 | 1500        |
| <b>Total</b>                  | <b>80</b> |                     | <b>8000</b> |

*Tab 8. Coste humano*

#### **Costo Total del Proyecto**

El costo total del proyecto es la suma de los gastos en materiales, la licencia de MATLAB y el costo de mano de obra.

$$\text{Costo Total} = \text{Gastos en Materiales} + \text{Costo de Licencia de MATLAB} + \text{Costo de Mano de Obra}$$

Pablo Martín Mula

---

$$\text{Costo Total} = 180\text{€} + 800\text{€} + 8000\text{€} = 8980\text{€}$$

### Rentabilidad del Proyecto

Para determinar la rentabilidad del proyecto, es esencial considerar el valor generado por el sistema desarrollado. Suponiendo que el sistema reduce errores en la detección de patatas y cuerpos extraños, mejora la eficiencia de la línea de producción, y por lo tanto, tiene un impacto económico positivo en términos de ahorro y ganancias adicionales.

#### Retorno de la Inversión (ROI):

$$ROI = \frac{\text{Ganancias Netas} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}} \times 100$$

#### Cálculo del Período de Recuperación

$$\text{Periodo de Recuperación} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorros Anuales}}$$

Dado que este proyecto no se ha puesto a prueba dentro de la industria alimentaria, tan solo podemos suponer nuestros valores para calcular las variables relacionadas con el estudio de rentabilidad del proyecto.

Supongamos que la implementación del sistema genera ahorros anuales de 4000 € y ganancias adicionales de 3000 €.

$$\text{Ganancias Netas} = 4000\text{€} + 3000\text{€} = 7000\text{€}$$

$$ROI = \frac{7000\text{€} - 8980\text{€}}{8980\text{€}} \times 100 = -22.07\%$$

$$\text{Periodo de Recuperación} = \frac{8980\text{€}}{4000\text{€}} = 2.25 \text{ Años}$$

#### Análisis de Resultados

El análisis muestra que el período de recuperación del proyecto es de aproximadamente 2.25 años, lo que indica que la inversión inicial se recuperará en poco más de 2 años. Sin embargo, el ROI inicial es negativo, aproximadamente -22.07%. Esto sugiere que, en el primer año, la inversión no se recupera completamente con los ahorros y ganancias estimados.

Aunque el ROI inicial es negativo, el período de recuperación es razonable, lo que sugiere que, a largo plazo, el proyecto puede ser rentable. Es importante considerar que las ganancias adicionales y los ahorros anuales pueden variar con el tiempo, y mejoras adicionales en el sistema podrían reducir los costos operativos y aumentar la rentabilidad. Por lo tanto, a pesar del ROI inicial negativo, el proyecto tiene el potencial de ser rentable y proporcionar beneficios económicos significativos en el mediano a largo plazo.

## Capítulo 3. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

### Conclusiones

Este proyecto ha abordado el desafío de la detección y clasificación de patatas normales, quemadas y cuerpos extraños en imágenes capturadas desde una webcam. A través de un enfoque metodológico que combina técnicas de procesamiento de imágenes en el espacio de color HSV y algoritmos de filtrado y etiquetado, hemos desarrollado un sistema robusto y eficiente.

### Eficiencia y Fiabilidad del Algoritmo

El algoritmo desarrollado ha demostrado ser eficaz en la identificación precisa de patatas normales y quemadas, así como en la detección de cuerpos extraños. La elección del espacio de color HSV permitió una segmentación de color precisa, crucial para distinguir entre los diferentes tipos de patatas y otros objetos. La implementación de un sistema de verificación con múltiples capturas asegura que los resultados sean consistentes y fiables, minimizando errores y falsos positivos.

### Beneficios del Sistema Desarrollado

El sistema proporciona múltiples beneficios a nivel operativo y económico:

- Reducción de Errores: La alta precisión en la detección reduce significativamente los errores en la clasificación de patatas, mejorando la calidad del producto final.
- Aumento de la Eficiencia: La automatización del proceso de detección y clasificación acelera la línea de producción, permitiendo una mayor productividad.
- Costos Operativos Reducidos: La disminución de la intervención manual y la minimización de errores contribuyen a una reducción en los costos operativos.
- Mejora en la Seguridad: Al identificar y eliminar cuerpos extraños, el sistema mejora la seguridad alimentaria y la satisfacción del consumidor.

### Análisis Económico

El análisis económico detallado del proyecto muestra un período de recuperación de 2.25 años, con un ROI inicial negativo del -22.07%. A pesar de este retorno inicial desfavorable, la proyección a largo plazo es positiva, dado que los ahorros y las ganancias anuales estimadas superan la inversión inicial después del período de recuperación. Este resultado es indicativo de la viabilidad económica del proyecto a mediano y largo plazo, particularmente cuando se consideran posibles mejoras y optimizaciones futuras.

Pablo Martín Mula

---

### **Limitaciones y futuras líneas de trabajo**

A pesar de los éxitos alcanzados, el proyecto presenta algunas limitaciones que deben ser abordadas en futuras iteraciones:

- Sensibilidad a las Condiciones de Iluminación: Aunque se ha estandarizado la iluminación, variaciones imprevistas pueden afectar la precisión del sistema.
- Adaptabilidad del Algoritmo: La rigidez del algoritmo actual podría beneficiarse de la implementación de técnicas de aprendizaje automático que permitan una adaptación más dinámica a diferentes condiciones y tipos de patatas.
- Costos Iniciales: Los costos asociados a la licencia de MATLAB y los materiales representan una barrera significativa que podría ser mitigada mediante la búsqueda de alternativas más económicas sin comprometer la calidad.
- Falta de recursos: limitaciones como la falta de una cámara hiperespectral, nos ha limitado a la hora de intentar desarrollar un sistema que pudiese medir químicos como la acrilamida o microplásticos invisibles para nuestro espectro visual, por lo que en líneas futuras se desarrollará una implementación de estos equipos.

### **Conclusión final**

En resumen, el proyecto ha logrado desarrollar un sistema de detección y clasificación que es tanto eficaz como eficiente, aportando claras ventajas operativas y económicas. A pesar de los desafíos y las áreas de mejora identificadas, la robustez y precisión del sistema lo posicionan como una solución viable y rentable para la industria de procesamiento de alimentos. Las futuras optimizaciones y adaptaciones tecnológicas tienen el potencial de mejorar aún más el desempeño y la rentabilidad, asegurando así su relevancia y utilidad a largo plazo.

Este proyecto no solo demuestra la viabilidad técnica y económica de la automatización en la clasificación de productos alimenticios, sino que también sienta las bases para futuras innovaciones en el campo de la visión artificial aplicada a la industria.

## ANEXOS

### Algoritmo de visión artificial completo y ordenado

```
% Leer la imagen de entrada

I = imread('1foto.jpg');

figure;

imshow(I); % Mostrar la imagen original

title('Imagen Original');

% Convertir la imagen al espacio de color HSV

I_hsv = rgb2hsv(I);

% Definir el rango para el color amarillo en el espacio HSV

hueMin_yellow = 0.1;
hueMax_yellow = 0.2;
satMin_yellow = 0.4;
satMax_yellow = 1.0;
valMin_yellow = 0.5;
valMax_yellow = 1.0;

% Definir el rango para el color quemado (rojizo) en el espacio HSV

hueMin_burnt = 0.0; % Hue para rojo
hueMax_burnt = 0.1; % Hue para rojo
satMin_burnt = 0.4;
satMax_burnt = 1.0;
valMin_burnt = 0.2;
valMax_burnt = 1.0;

% Máscara para patatas amarillas

yellowMask = (I_hsv(:,:,1) >= hueMin_yellow & I_hsv(:,:,1) <=
hueMax_yellow) & ...

                (I_hsv(:,:,2) >= satMin_yellow & I_hsv(:,:,2) <=
satMax_yellow) & ...
```

Pablo Martín Mula

---

```

(I_hsv(:,:,3) >= valMin_yellow & I_hsv(:,:,3) <=
valMax_yellow);

% Máscara para patatas quemadas (rojizas)

burntMask = (I_hsv(:,:,1) >= hueMin_burnt & I_hsv(:,:,1) <=
hueMax_burnt) & ...

(I_hsv(:,:,2) >= satMin_burnt & I_hsv(:,:,2) <= satMax_burnt)
& ...

(I_hsv(:,:,3) >= valMin_burnt & I_hsv(:,:,3) <=
valMax_burnt);

% Máscara para el color negro (paredes)

blackMask = (I_hsv(:,:,3) < 0.2);

% Máscara para el color azul claro (suelo)

hueMin_blue = 0.45;
hueMax_blue = 0.7;
satMin_blue = 0;
satMax_blue = 0.5;
valMin_blue = 0;
valMax_blue = 1.0;

blueMask = (I_hsv(:,:,1) >= hueMin_blue & I_hsv(:,:,1) <= hueMax_blue) &
...

(I_hsv(:,:,2) >= satMin_blue & I_hsv(:,:,2) <= satMax_blue) &
...

(I_hsv(:,:,3) >= valMin_blue & I_hsv(:,:,3) <= valMax_blue);

% Eliminar el ruido y rellenar los huecos para las patatas amarillas
yellowMask_clean = bwareaopen(yellowMask, 50);
yellowMask_filled = imfill(yellowMask_clean, 'holes');

% Eliminar el ruido y rellenar los huecos para las patatas quemadas
burntMask_clean = bwareaopen(burntMask, 50);
burntMask_filled = imfill(burntMask_clean, 'holes');

% Dilatar las máscaras de las patatas para cubrir mejor sus bordes
se = strel('disk', 10); % Podemos ajustar el tamaño del elemento
estructurante según sea necesario

```

Pablo Martín Mula

---

```
dilatedYellowMask = imdilate(yellowMask_filled, se);  
  
dilatedBurntMask = imdilate(burntMask_filled, se);  
  
% Máscara para cuerpos extraños: cualquier cosa que no sea negro, azul  
claro ni patatas (dilatadas)  
  
foreignMask = ~(blackMask | blueMask | dilatedYellowMask |  
dilatedBurntMask);  
  
% Eliminar el ruido y rellenar los huecos para los cuerpos extraños  
  
foreignMask_clean = bwareaopen(foreignMask, 50);  
  
foreignMask_filled = imfill(foreignMask_clean, 'holes');  
  
% Visualizar las máscaras y los resultados  
  
figure;  
  
imshow(yellowMask_filled);  
  
title('Máscara de Color Amarillo sin Ruido y con Huecos Rellenos');  
  
figure;  
  
imshow(burntMask_filled);  
  
title('Máscara de Color Quemado sin Ruido y con Huecos Rellenos');  
  
figure;  
  
imshow(foreignMask_filled);  
  
title('Máscara de Cuerpos Extraños sin Ruido y con Huecos Rellenos');  
  
% Definir el tamaño mínimo de área para considerar una patata  
  
minArea = 9000; % Podemos ajustar según sea necesario  
  
% Filtrar patatas amarillas según su tamaño  
  
L_yellow = bwlabel(yellowMask_filled);  
  
stats_yellow = regionprops(L_yellow, 'Area', 'BoundingBox');  
  
largeYellowMask = ismember(L_yellow, find([stats_yellow.Area] >=  
minArea));  
  
% Filtrar patatas quemadas según su tamaño  
  
L_burnt = bwlabel(burntMask_filled);  
  
stats_burnt = regionprops(L_burnt, 'Area', 'BoundingBox');  
  
largeBurntMask = ismember(L_burnt, find([stats_burnt.Area] >= minArea));
```

Pablo Martín Mula

---

```
% Filtrar cuerpos extraños según su tamaño

L_foreign = bwlabel(foreignMask_filled);

stats_foreign = regionprops(L_foreign, 'Area', 'BoundingBox');

largeForeignMask = ismember(L_foreign, find([stats_foreign.Area] >=
minArea));

% Mostrar el resultado

figure;

imshow(I);

hold on;

filteredYellowStats = regionprops(largeYellowMask, 'BoundingBox');

filteredBurntStats = regionprops(largeBurntMask, 'BoundingBox');

filteredForeignStats = regionprops(largeForeignMask, 'BoundingBox');

for k = 1:length(filteredYellowStats)

    rectangle('Position', filteredYellowStats(k).BoundingBox,
'EdgeColor', 'g', 'LineWidth', 2);

    label = sprintf('Patata Normal\n(%d, %d)',
round(filteredYellowStats(k).BoundingBox(1)),
round(filteredYellowStats(k).BoundingBox(2)));

    text(filteredYellowStats(k).BoundingBox(1),
filteredYellowStats(k).BoundingBox(2) - 10, label, 'Color', 'g',
'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');

end

for k = 1:length(filteredBurntStats)

    rectangle('Position', filteredBurntStats(k).BoundingBox, 'EdgeColor',
'r', 'LineWidth', 2);

    label = sprintf('Patata Quemada\n(%d, %d)',
round(filteredBurntStats(k).BoundingBox(1)),
round(filteredBurntStats(k).BoundingBox(2)));

    text(filteredBurntStats(k).BoundingBox(1),
filteredBurntStats(k).BoundingBox(2) - 10, label, 'Color', 'r',
'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');

end

for k = 1:length(filteredForeignStats)
```

Pablo Martín Mula

---

```
    rectangle('Position', filteredForeignStats(k).BoundingBox,  
'EdgeColor', 'b', 'LineWidth', 2); % Cuerpos extraños en azul  
  
    label = sprintf('Cuerpo Extraño\n(%d, %d)',  
round(filteredForeignStats(k).BoundingBox(1)),  
round(filteredForeignStats(k).BoundingBox(2)));  
  
    text(filteredForeignStats(k).BoundingBox(1),  
filteredForeignStats(k).BoundingBox(2) - 10, label, 'Color', 'b',  
'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');  
  
end  
  
title(['Patatas Normales: ', num2str(length(filteredYellowStats)), ...  
      ', Patatas Quemadas: ', num2str(length(filteredBurntStats)), ...  
      ', Cuerpos Extraños: ', num2str(length(filteredForeignStats))]);  
  
hold off;  
  
% Mostrar el número de objetos detectados  
  
disp(['Número de patatas normales detectadas: ',  
num2str(length(filteredYellowStats))]);  
  
disp(['Número de patatas quemadas detectadas: ',  
num2str(length(filteredBurntStats))]);  
  
disp(['Número de cuerpos extraños detectados: ',  
num2str(length(filteredForeignStats))]);  
  
% Obtener las ubicaciones de los cuerpos extraños  
  
foreignObjectLocations = reshape([filteredForeignStats.BoundingBox], 4,  
[]).';  
  
disp('Ubicaciones de los cuerpos extraños (x, y, width, height):');  
  
disp(foreignObjectLocations);
```

Pablo Martín Mula

---

## Código completo con el sistema de comprobación implementado

```
% Configuración de la cámara

cam = webcam;

preview(cam); % Mostrar la vista previa de la cámara

% Definir el número de imágenes a capturar

numImages = 3;

% Inicializar variables para almacenar resultados

numYellow = zeros(1, numImages);

numBurnt = zeros(1, numImages);

numForeign = zeros(1, numImages);

% Capturar y procesar las imágenes

for i = 1:numImages

    disp(['Capturando imagen ', num2str(i)]);

    % Capturar imagen desde la cámara

    pause(2); % Dar tiempo para estabilizar la imagen

    I = snapshot(cam);

    % Mostrar la imagen original

    figure;

    imshow(I);

    title(['Imagen Original - Captura ', num2str(i)]);

    % Convertir la imagen al espacio de color HSV

    I_hsv = rgb2hsv(I);

    % Definir rangos para el color amarillo en el espacio HSV

    hueMin_yellow = 0.1;

    hueMax_yellow = 0.2;

    satMin_yellow = 0.4;
```

Pablo Martín Mula

---

```
satMax_yellow = 1.0;

valMin_yellow = 0.5;

valMax_yellow = 1.0;

% Definir rangos para el color quemado (rojizo) en el espacio HSV

hueMin_burnt = 0.0; % Hue para rojo

hueMax_burnt = 0.1; % Hue para rojo

satMin_burnt = 0.4;

satMax_burnt = 1.0;

valMin_burnt = 0.2;

valMax_burnt = 1.0;

% Máscara para patatas amarillas

yellowMask = (I_hsv(:,:,1) >= hueMin_yellow & I_hsv(:,:,1) <=
hueMax_yellow) & ...

                (I_hsv(:,:,2) >= satMin_yellow & I_hsv(:,:,2) <=
satMax_yellow) & ...

                (I_hsv(:,:,3) >= valMin_yellow & I_hsv(:,:,3) <=
valMax_yellow);

% Máscara para patatas quemadas (rojizas)

burntMask = (I_hsv(:,:,1) >= hueMin_burnt & I_hsv(:,:,1) <=
hueMax_burnt) & ...

                (I_hsv(:,:,2) >= satMin_burnt & I_hsv(:,:,2) <=
satMax_burnt) & ...

                (I_hsv(:,:,3) >= valMin_burnt & I_hsv(:,:,3) <=
valMax_burnt);

% Máscara para el color negro (paredes)

blackMask = (I_hsv(:,:,3) < 0.2);

% Máscara para el color azul claro (suelo)

hueMin_blue = 0.45;

hueMax_blue = 0.7;

satMin_blue = 0;

satMax_blue = 0.5;

valMin_blue = 0;
```

Pablo Martín Mula

---

```

    valMax_blue = 1.0;

    blueMask = (I_hsv(:,:,1) >= hueMin_blue & I_hsv(:,:,1) <=
hueMax_blue) & ...

                (I_hsv(:,:,2) >= satMin_blue & I_hsv(:,:,2) <=
satMax_blue) & ...

                (I_hsv(:,:,3) >= valMin_blue & I_hsv(:,:,3) <=
valMax_blue);

    % Eliminar el ruido y rellenar los huecos para las patatas amarillas
    yellowMask_clean = bwareaopen(yellowMask, 50);
    yellowMask_filled = imfill(yellowMask_clean, 'holes');

    % Eliminar el ruido y rellenar los huecos para las patatas quemadas
    burntMask_clean = bwareaopen(burntMask, 50);
    burntMask_filled = imfill(burntMask_clean, 'holes');

    % Dilatar las máscaras de las patatas para cubrir mejor sus bordes
    se = strel('disk', 10); % Ajustar el tamaño del elemento
estructurante según sea necesario

    dilatedYellowMask = imdilate(yellowMask_filled, se);
    dilatedBurntMask = imdilate(burntMask_filled, se);

    % Máscara para cuerpos extraños: cualquier cosa que no sea negro,
azul claro ni patatas (dilatadas)

    foreignMask = ~(blackMask | blueMask | dilatedYellowMask |
dilatedBurntMask);

    % Eliminar el ruido y rellenar los huecos para los cuerpos extraños
    foreignMask_clean = bwareaopen(foreignMask, 50);
    foreignMask_filled = imfill(foreignMask_clean, 'holes');

    % Filtrar patatas amarillas según su tamaño
    minArea = 9000; % Ajustar según sea necesario

    L_yellow = bwlabel(yellowMask_filled);
    stats_yellow = regionprops(L_yellow, 'Area', 'BoundingBox');

    largeYellowMask = ismember(L_yellow, find([stats_yellow.Area] >=
minArea));

    % Filtrar patatas quemadas según su tamaño

```

Pablo Martín Mula

---

```

L_burnt = bwlabel(burntMask_filled);

stats_burnt = regionprops(L_burnt, 'Area', 'BoundingBox');

largeBurntMask = ismember(L_burnt, find([stats_burnt.Area] >=
minArea));

% Filtrar cuerpos extraños según su tamaño

L_foreign = bwlabel(foreignMask_filled);

stats_foreign = regionprops(L_foreign, 'Area', 'BoundingBox');

largeForeignMask = ismember(L_foreign, find([stats_foreign.Area] >=
minArea));

% Mostrar el resultado con los recuadros y etiquetas

hold on;

for k = 1:length(stats_yellow)

    rectangle('Position', stats_yellow(k).BoundingBox, 'EdgeColor',
'g', 'LineWidth', 2);

    label = sprintf('Patata Normal\n(%d, %d)',
round(stats_yellow(k).BoundingBox(1)),
round(stats_yellow(k).BoundingBox(2)));

    text(stats_yellow(k).BoundingBox(1),
stats_yellow(k).BoundingBox(2) - 10, label, 'Color', 'g', 'FontSize',
10, 'FontWeight', 'bold');

end

for k = 1:length(stats_burnt)

    rectangle('Position', stats_burnt(k).BoundingBox, 'EdgeColor',
'r', 'LineWidth', 2);

    label = sprintf('Patata Quemada\n(%d, %d)',
round(stats_burnt(k).BoundingBox(1)),
round(stats_burnt(k).BoundingBox(2)));

    text(stats_burnt(k).BoundingBox(1), stats_burnt(k).BoundingBox(2)
- 10, label, 'Color', 'r', 'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');

end

for k = 1:length(stats_foreign)

    rectangle('Position', stats_foreign(k).BoundingBox, 'EdgeColor',
'b', 'LineWidth', 2); % Cuerpos extraños en azul

```

Pablo Martín Mula

```

                label = sprintf('Cuerpo Extraño\n(%d, %d)',
round(stats_foreign(k).BoundingBox(1)),
round(stats_foreign(k).BoundingBox(2)));

                text(stats_foreign(k).BoundingBox(1),
stats_foreign(k).BoundingBox(2) - 10, label, 'Color', 'b', 'FontSize',
10, 'FontWeight', 'bold');

    end

    title(['Patatas Normales: ', num2str(length(stats_yellow)), ...
        ', Patatas Quemadas: ', num2str(length(stats_burnt)), ...
        ', Cuerpos Extraños: ', num2str(length(stats_foreign))] );

    hold off;

    % Almacenar resultados

    numYellow(i) = length(stats_yellow);

    numBurnt(i) = length(stats_burnt);

    numForeign(i) = length(stats_foreign);

end

% Cerrar la vista previa de la cámara

closePreview(cam);

clear cam;

% Verificar si todos los resultados son iguales

if all(numYellow == numYellow(1)) && all(numBurnt == numBurnt(1)) &&
all(numForeign == numForeign(1))

    % Mostrar mensaje de confirmación en la última imagen

    figure;

    imshow(I);

    text(20, 20, ';Comprobación correcta!', 'Color', 'g', 'FontSize', 20,
'FontWeight', 'bold');

    title('Última imagen con comprobación correcta');

else

    disp('La comprobación no es correcta. Los resultados no coinciden en
todas las imágenes.');
```

Pablo Martín Mula

---

## Código completo de calibración

```
% Leer la imagen de entrada

I = imread('papasconcodigo2.jpg');

figure;

imshow(I); % Mostrar la imagen original

title('Imagen Original');

% Convertir la imagen al espacio de color HSV

I_hsv = rgb2hsv(I);

% Definir el rango para el color amarillo en el espacio HSV

hueMin_yellow = 0.1;

hueMax_yellow = 0.2;

satMin_yellow = 0.4;

satMax_yellow = 1.0;

valMin_yellow = 0.5;

valMax_yellow = 1.0;

% Definir el rango para el color quemado (rojizo) en el espacio HSV

hueMin_burnt = 0.0; % Hue para rojo

hueMax_burnt = 0.1; % Hue para rojo

satMin_burnt = 0.4;

satMax_burnt = 1.0;

valMin_burnt = 0.2;

valMax_burnt = 1.0;

% Máscara para patatas amarillas

yellowMask = (I_hsv(:,:,1) >= hueMin_yellow & I_hsv(:,:,1) <=
hueMax_yellow) & ...

                (I_hsv(:,:,2) >= satMin_yellow & I_hsv(:,:,2) <=
satMax_yellow) & ...

                (I_hsv(:,:,3) >= valMin_yellow & I_hsv(:,:,3) <=
valMax_yellow);

% Máscara para patatas quemadas (rojizas)
```

Pablo Martín Mula

---

```
burntMask = (I_hsv(:,:,1) >= hueMin_burnt & I_hsv(:,:,1) <=
hueMax_burnt) & ...

                (I_hsv(:,:,2) >= satMin_burnt & I_hsv(:,:,2) <=
satMax_burnt) & ...

                (I_hsv(:,:,3) >= valMin_burnt & I_hsv(:,:,3) <=
valMax_burnt);

% Máscara para el color negro (paredes)
blackMask = (I_hsv(:,:,3) < 0.2);

% Máscara para el color azul claro (suelo)
hueMin_blue = 0.45;
hueMax_blue = 0.7;
satMin_blue = 0;
satMax_blue = 0.5;
valMin_blue = 0;
valMax_blue = 1.0;
blueMask = (I_hsv(:,:,1) >= hueMin_blue & I_hsv(:,:,1) <= hueMax_blue)
& ...

                (I_hsv(:,:,2) >= satMin_blue & I_hsv(:,:,2) <= satMax_blue)
& ...

                (I_hsv(:,:,3) >= valMin_blue & I_hsv(:,:,3) <= valMax_blue);

% Eliminar el ruido y rellenar los huecos para las patatas amarillas
yellowMask_clean = bwareaopen(yellowMask, 50);
yellowMask_filled = imfill(yellowMask_clean, 'holes');

% Eliminar el ruido y rellenar los huecos para las patatas quemadas
burntMask_clean = bwareaopen(burntMask, 50);
burntMask_filled = imfill(burntMask_clean, 'holes');

% Dilatar las máscaras de las patatas para cubrir mejor sus bordes
se = strel('disk', 10); % Ajustar el tamaño del elemento estructurante
según sea necesario
dilatedYellowMask = imdilate(yellowMask_filled, se);
dilatedBurntMask = imdilate(burntMask_filled, se);
```

Pablo Martín Mula

---

```
% Máscara para cuerpos extraños: cualquier cosa que no sea negro, azul
claro ni patatas (dilatadas)

foreignMask = ~(blackMask | blueMask | dilatedYellowMask |
dilatedBurntMask);

% Eliminar el ruido y rellenar los huecos para los cuerpos extraños

foreignMask_clean = bwareaopen(foreignMask, 50);

foreignMask_filled = imfill(foreignMask_clean, 'holes');

% Definir el tamaño mínimo de área para considerar una patata

minArea = 9000; % Ajustar según sea necesario

% Filtrar patatas amarillas según su tamaño

L_yellow = bwlabel(yellowMask_filled);

stats_yellow = regionprops(L_yellow, 'Area', 'BoundingBox');

largeYellowMask = ismember(L_yellow, find([stats_yellow.Area] >=
minArea));

% Filtrar patatas quemadas según su tamaño

L_burnt = bwlabel(burntMask_filled);

stats_burnt = regionprops(L_burnt, 'Area', 'BoundingBox');

largeBurntMask = ismember(L_burnt, find([stats_burnt.Area] >=
minArea));

% Filtrar cuerpos extraños según su tamaño

L_foreign = bwlabel(foreignMask_filled);

stats_foreign = regionprops(L_foreign, 'Area', 'BoundingBox');

largeForeignMask = ismember(L_foreign, find([stats_foreign.Area] >=
minArea));

% Detección de código de barras

barcodeMsg = 'patata normal'; % Variable para almacenar el mensaje del
código de barras

try

    barcode = barcode(I); % Intentar leer el código de barras

    if ~isempty(barcode)

        barcodeMsg = barcode;

    end

end
```

Pablo Martín Mula

---

```

catch ME

    disp('Error al leer el código de barras:');

    disp(ME.message);

end

% Mostrar el resultado

figure;

imshow(I);

hold on;

filteredYellowStats = regionprops(largeYellowMask, 'BoundingBox');
filteredBurntStats = regionprops(largeBurntMask, 'BoundingBox');
filteredForeignStats = regionprops(largeForeignMask, 'BoundingBox');

for k = 1:length(filteredYellowStats)

    rectangle('Position', filteredYellowStats(k).BoundingBox,
'EdgeColor', 'g', 'LineWidth', 2);

    label = sprintf('Patata Normal\n(%d, %d)',
round(filteredYellowStats(k).BoundingBox(1)),
round(filteredYellowStats(k).BoundingBox(2)));

    text(filteredYellowStats(k).BoundingBox(1),
filteredYellowStats(k).BoundingBox(2) - 10, label, 'Color', 'g',
'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');

end

for k = 1:length(filteredBurntStats)

    rectangle('Position', filteredBurntStats(k).BoundingBox,
'EdgeColor', 'r', 'LineWidth', 2);

    label = sprintf('Patata Quemada\n(%d, %d)',
round(filteredBurntStats(k).BoundingBox(1)),
round(filteredBurntStats(k).BoundingBox(2)));

    text(filteredBurntStats(k).BoundingBox(1),
filteredBurntStats(k).BoundingBox(2) - 10, label, 'Color', 'r',
'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');

end

for k = 1:length(filteredForeignStats)

    rectangle('Position', filteredForeignStats(k).BoundingBox,
'EdgeColor', 'b', 'LineWidth', 2); % Cuerpos extraños en azul

```

Pablo Martín Mula

```

                label = sprintf('Cuerpo Extraño\n(%d, %d)',
round(filteredForeignStats(k).BoundingBox(1)),
round(filteredForeignStats(k).BoundingBox(2)));

                text(filteredForeignStats(k).BoundingBox(1),
filteredForeignStats(k).BoundingBox(2) - 10, label, 'Color', 'b',
'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');

end

% Condición de calibración

if isempty(filteredBurntStats) && isempty(filteredForeignStats)

    if ~isempty(barcodeMsg) && contains(lower(barcodeMsg), 'patata
normal')

        title('Sistema Calibrado');

        text(10, 10, 'Sistema Calibrado', 'Color', 'w', 'FontSize', 20,
'FontWeight', 'bold', 'BackgroundColor', 'g');

    else

        title('Error de Calibración');

        text(10, 10, 'Error de Calibración', 'Color', 'w', 'FontSize',
20, 'FontWeight', 'bold', 'BackgroundColor', 'r');

    end

else

    title('Error de Calibración');

    text(10, 10, 'Error de Calibración', 'Color', 'w', 'FontSize', 20,
'FontWeight', 'bold', 'BackgroundColor', 'r');

end

hold off;

% Mostrar el número de objetos detectados

disp(['Número de patatas normales detectadas: ',
num2str(length(filteredYellowStats))]);

disp(['Número de patatas quemadas detectadas: ',
num2str(length(filteredBurntStats))]);

disp(['Número de cuerpos extraños detectados: ',
num2str(length(filteredForeignStats))]);

% Obtener las ubicaciones de los cuerpos extraños

```

Pablo Martín Mula

```
foreignObjectLocations = reshape([filteredForeignStats.BoundingBox],
4, []).';

disp('Ubicaciones de los cuerpos extraños (x, y, width, height):');

disp(foreignObjectLocations);
```

**Anexo de normativa (RASFF)**

|           |                            |      |                                       |             |                                                                                     |                                                                                              |                                        |                     |
|-----------|----------------------------|------|---------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------|
| 2023.3562 | Prepared dishes and snacks | food | Acrylamid in potato chips from Kosovo | 26 MAY 2023 |  |  Slovenia | information notification for follow-up | potentially serious |
| 2023.3049 | Prepared dishes and snacks | food | Acrylamide in potato chips            | 9 MAY 2023  |  |  Latvia   | information notification for follow-up | potentially serious |

Como podemos observar, existen alertas sanitarias en alimentación por toda Europa reflejadas en la RASFF, lo que refuerza la relevancia del desarrollo de proyectos como este.

## PRESUPUESTO

| Descripción del Material   | Costo (€) |
|----------------------------|-----------|
| Componentes electrónicos   | 100       |
| Cámara                     | 50        |
| Materiales de construcción | 30        |
| Total                      | 180       |

*Tab 9. Presupuesto del proyecto*

En nuestro caso, para el desarrollo de nuestro algoritmo, la UEM nos ha proporcionado una licencia de estudiante de Matlab, por lo que el presupuesto ha sido invertido en su totalidad en el sistema de iluminación y recopilación de muestras.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Computer vision toolbox. *MATLAB* [online]. [Accessed 8 July 2024]. Available from: <https://www.mathworks.com/products/computer-vision.html>
2. GREEN, Elizabeth. Safe's campaign calls for action on limiting acrylamide levels in food. *.foodingredientsfirst.com/* [online]. 19 June 2024. [Accessed 8 July 2024]. Available from: <https://www.foodingredientsfirst.com/news/safes-campaign-calls-for-action-on-limiting-acrylamide-levels-in-food.html>
3. Más de 30 años aportando Soluciones de Automatización. *Serfruit* [online]. 4 October 2021. [Accessed 8 July 2024]. Available from: <https://www.serfruit.com/>
4. Barra - Testigos y patrones certificados. *Plásticos Detectables* [online]. 19 February 2024. [Accessed 8 July 2024]. Available from: <https://plasticosdetectables.com/producto/patron-de-calibracion-tipo-barra/>
5. Buscador de Normas. *Web Aenor* [online]. [Accessed 8 July 2024]. Available from: <https://tienda.aenor.com/normas/buscador-de-normas>
6. AENORMAS. *AENORMas* [online]. [Accessed 8 July 2024]. Available from: <https://aenormas.aenor.com/>
7. AGRIPPI and DIJO:, Laura. Visión Artificial Para Mejorar La Calidad. *José Agrippino* [online]. 14 May 2014. [Accessed 8 July 2024]. Available from: <https://serviciosencalidaddinocuidad.wordpress.com/2014/05/14/vision-artificial-para-mejorar-la-calidad/>
8. CUBERO GARCÍA, Sergio. Diseño e Implementación de Nuevas Tecnologías Basadas en visión artificial para la inspección no destructiva de la Calidad de fruta en campo y mínimamente procesada. *UPV* [online]. 24 May 2012. [Accessed 8 July 2024]. Available from: <https://riunet.upv.es/handle/10251/15999>
9. "Ifs Homepage." *IFS Database*, [www.ifs-certification.com/en/?option=com\\_content&view=article&id=645](http://www.ifs-certification.com/en/?option=com_content&view=article&id=645). Accessed 8 July 2024.
10. BENITES, Castillo, TIMMERMANN, Bungler, DÍAZ, Puente and PLASENCIA, Pedreschi. Repositorio Académico - universidad de chile. *Repositorio Académico de la Universidad de Chile* [online]. 1970. [Accessed 8 July 2024]. Available from: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/198401>
11. FIGUEROA, Diego Escobar and GUERRERO, Edgar Roa. Sistema de Visión artificial para la Identificación del Estado de Madurez de Frutas (granadilla). *Redes de Ingeniería* [online]. [Accessed 8 July 2024]. Available from: <https://geox.udistrital.edu.co/index.php/REDES/article/view/10056>
12. UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA. DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE MATERIALES - DEPARTAMENT D'ENGINYERIA MECÀNICA I DE MATERIALS, GARCÍA FUENTES, Jorge, NAVALEÓN DAVILA, Abraham, JORDA REOLID, Antoni and JUAREZ VARAS, David. Visión Artificial Aplicada Al Control de la Calidad. *3C Tecnología* [online]. 25 June 2020. [Accessed 8 July 2024]. Available from: <https://riunet.upv.es/handle/10251/77705>
13. IEEE Xplore. *Concept of Real-Time Prediction and Evaluation System of Robotic Food Chewing Using Machine Vision and Deep Learning* [online]. [Accessed 8 July 2024]. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>

Pablo Martín Mula

---

14. *Mapa* [online]. [Accessed 8 July 2024]. Available from: [https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/legislacion/recopilaciones-legislativas-monograficas/pdaderivadostuberculossomariocompleto04032017\\_tcm30-79093.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/legislacion/recopilaciones-legislativas-monograficas/pdaderivadostuberculossomariocompleto04032017_tcm30-79093.pdf)
15. "Rasff." *Food Safety*, [food.ec.europa.eu/safety/rasff\\_en](http://food.ec.europa.eu/safety/rasff_en). Accessed 8 July 2024.