



Visión artificial e imágenes hiperespectrales: ¿el futuro del control de calidad de los productos de la pesca?

Juan Rodríguez Herrera

Científico Titular en el Grupo de Microbiología Alimentaria y Ambiental (MicroSAFE) del Instituto de Investigaciones Marinas (IIM-CSIC) de Vigo. Es licenciado en Ciencias del Mar por la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, doctor en Ciencias Biológicas por la Universidad de Santiago de Compostela y posee un Máster en Bioquímica por la University of Aberdeen (Reino Unido). Su trabajo se centra en los ámbitos de la Seguridad Microbiológica Alimentaria, con un enfoque integral que abarca desde el mar hasta el consumidor, y en la Tecnología y Calidad de Productos de la Pesca y de la Acuicultura.

Carlos Vilas Fernández

Científico Titular en el Grupo de Biosistemas e Ingeniería de Bioprocesos del Instituto de Investigaciones Marinas (IIM-CSIC) de Vigo. Es licenciado en Químicas y doctor en Matemáticas Aplicadas, ambos títulos por la Universidad de Vigo. Su trabajo se centra en el desarrollo de herramientas y estrategias de modelado matemático, optimización y control para la monitorización y mejora de procesos relevantes en la industria alimentaria, como la esterilización de alimentos envasados o la degradación de la calidad del pescado durante el transporte y almacenamiento.

Silvia Muñoz Santiago

Investigadora en microbiología y seguridad alimentaria en el Instituto de Investigaciones Marinas (CSIC), doctora por la Universidad de Vigo, con formación en Biotecnología, Biología Molecular y Biomedicina. Su actividad investigadora se centra en microorganismos asociados al deterioro y la seguridad de alimentos de origen marino, combinando microbiología aplicada, biología molecular, análisis de datos y modelización predictiva. Ha trabajado en el desarrollo de estrategias para el control de patógenos alimentarios, así como en herramientas de monitorización de la calidad y vida útil de productos pesqueros mediante técnicas microbiológicas avanzadas y modelos matemáticos.

Desafíos actuales en la evaluación de la calidad de los productos de la pesca

La aceptabilidad de un pescado o marisco fresco y, en consecuencia, su valor comercial, vienen determinados fundamentalmente por su grado de frescura. Con el fin de evaluarla, la industria y el consumidor recurren generalmente al análisis de propiedades sensoriales como el aspecto de la piel, las branquias o los ojos, atendiendo a su inmediatez, bajo coste y simplicidad.

En la Unión Europea, **el análisis sensorial se regula mediante el Reglamento (CE) nº 2406/96**, que impone sendos esquemas generales para pescado blanco, pescado azul y elasmobranquios, aplicando así los mismos criterios a especies muy dispares (por ejemplo, al atún y a la sardina). Ante este enfoque generalista, **surgió la búsqueda de alternativas que aportasen mayor especificidad, como el Método del Índice de Calidad (QIM)**, que utiliza esquemas específicos para cada especie y permite predecir la vida útil remanente del producto. Sin embargo, este método sigue condicionado tanto por la interpretación subjetiva del evaluador como por una normativa que prioriza la simplicidad del sistema actual frente a la dificultad de aplicar la enorme variabilidad de esquemas específicos de forma masiva.

Alternativamente, **se dispone de métodos analíticos de alta precisión para evaluar la frescura de modo objetivo.** Sin embargo, estos presentan limitaciones operativas: son laboriosos, requieren mucho tiempo, exigen personal especializado e implican la destrucción de la muestra. Estas barreras los hacen inviables para el control de calidad en tiempo real, donde la velocidad y la integridad del producto son indispensables. Y a esto se suma que **el control de calidad actual**, tanto sensorial como analítico, **se basa en muestreos aleatorios** ante la imposibilidad técnica de examinar individualmente cada ejemplar, **lo que excluye a la gran mayoría de la producción.**

Visión artificial e imagen hiperespectral: ¿el futuro del control de calidad?

Estas limitaciones han orientado la investigación hacia el uso de sistemas de visión artificial, que podrían facilitar una inspección no destructiva de alto rendimiento con la que evaluar, de forma objetiva y en tiempo real, cada pieza de modo inmediato. Su implementación permitiría eliminar el sesgo humano y la necesidad de realizar extrapolaciones, garantizando un control de calidad integral y constante en la línea de producción. Entre las opciones desarrolladas en este ámbito, **la tecnología de imagen hiperespectral (HSI, por sus siglas en inglés) ha surgido como una alternativa especialmente prometedora.** La HSI captura información espectral detallada a lo largo de un amplio rango de longitudes de onda,

permitiendo la medición indirecta de indicadores de calidad específicos que no resultan visibles al ojo humano.

Casos de estudio: merluza y rodaballo

Para validar el potencial de esta tecnología en escenarios reales, el sistema se puso a prueba monitorizando la evolución de la calidad de merluza en rodajas y rodaballo entero bajo diferentes temperaturas de conservación. Este trabajo se realizó en el marco del Programa de Ciencias Marinas (ThinkInAzul) -financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación y la Xunta de Galicia con fondos de la Unión Europea (NextGenerationEU/PRTR-C17.I1 y FEMP/FEMPA)- e integró análisis sensoriales, químicos y microbiológicos para definir con precisión los patrones de alteración de ambos productos. Paralelamente, se llevó a cabo la adquisición de imágenes con dos cámaras hiperespectrales en un rango que abarca desde la luz visible al infrarrojo cercano. Bajo la hipótesis de que este espectro constituye una huella digital óptica capaz de vincular la luz reflejada con el grado de frescura del pescado, se procedió seguidamente a validar su correlación con los índices de frescura más relevantes en estas especies.

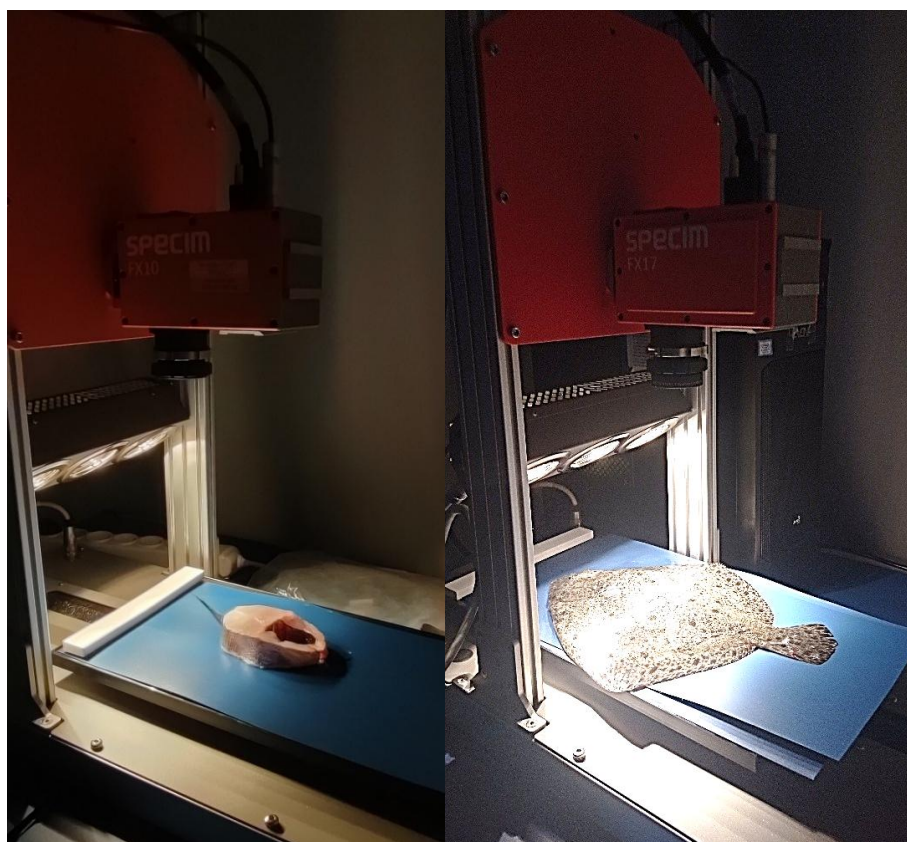


Figura 1. Funcionamiento de la cámara hiperespectral durante la captura de imágenes de rodaja de merluza y pieza de rodaballo.

Con este objetivo se entrenaron algoritmos de inteligencia artificial utilizando tanto los datos analíticos obtenidos como datos sintéticos para reforzar el entrenamiento de los modelos. El sistema aprendió así a interpretar la firma espectral de cada pieza, transformando la información capturada por HSI en diagnósticos de calidad objetivos de modo automático. **Esto permitiría monitorizar el proceso de alteración del pescado de modo objetivo y en tiempo real, asignando el grado de frescura correspondiente sin necesidad de depender de las metodologías tradicionales.**

En el caso de la merluza, el sistema logró predecir la frescura y la carga bacteriana con una fiabilidad superior al 90%. Estos resultados igualan y, en casos críticos, pueden superar la precisión de los métodos de inspección tradicionales al eliminar la subjetividad del evaluador y detectar cambios en el infrarrojo no visibles sensorialmente. Esto permitiría detectar el deterioro incluso antes de que sea perceptible, transformando el control de calidad en una herramienta de decisión preventiva. Por su parte, **el modelo diseñado para el rodaballo logró estimar con una precisión excelente la frescura real a través de indicadores clave como los nucleótidos,** adaptándose con éxito a la complejidad de analizar un pez entero por ambas caras. En definitiva, este estudio ha demostrado que el HSI es capaz de automatizar la evaluación de la calidad de pescado fresco con una objetividad constante.

En conclusión, la tecnología HSI se posiciona como una solución estratégica en la que profundizar de cara a que la industria pesquera realice una inspección no destructiva, objetiva y automática de la calidad de pescado fresco. A diferencia de los métodos tradicionales, esta herramienta permite escanear la totalidad de la producción en tiempo real, pudiendo además predecir la vida útil remanente de cada pieza. Su integración en plantas de procesado, lonjas o centros de distribución **facilitaría la clasificación automática por categorías de calidad, optimizando la logística comercial y minimizando pérdidas económicas.** En definitiva, esta tecnología puede automatizar la determinación del grado de frescura, garantizando una gestión de recursos más eficiente que facilite reducir el desperdicio alimentario y reforzar la seguridad y confianza del consumidor final.