

Visión artificial e imaxes hiperespectrais: o futuro do control de calidade dos produtos da pesca?

Juan Rodríguez Herrera

Científico Titular no Grupo de Microbioloxía Alimentaria e Ambiental (MicroSAFE) do Instituto de Investigacións Mariñas (IIM-CSIC) de Vigo. É licenciado en Ciencias do Mar pola Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, doutor en Ciencias Biolóxicas pola Universidade de Santiago de Compostela e posúe un Máster en Bioquímica pola University of Aberdeen (Reino Unido). O seu traballo céntrase nos ámbitos da Seguridade Microbiolóxica Alimentaria, cun enfoque integral que vai do mar ao consumidor, e na Tecnoloxía e Calidade de Produtos da Pesca e da Acuicultura.

Carlos Vilas Fernández

Científico Titular no Grupo de Biosistemas e Enxeñería de Bioprocesos do Instituto de Investigacións Mariñas (IIM-CSIC) de Vigo, licenciado en Químicas con doutoramento en Matemáticas Aplicadas, ambos pola Universidade de Vigo. O seu traballo céntrase no desenvolvemento de ferramentas e estratexias de modelado matemático, optimización e control para a monitorización e a mellora de procesos relevantes na industria alimentaria, coma a esterilización de alimentos envasados ou a degradación da calidade do peixe durante o transporte e almacenamento.

Silvia Muñoz Santiago

Investigadora en microbioloxía e seguridade alimentaria no Instituto de Investigacións Mariñas (CSIC), doutora pola Universidade de Vigo, con formación en Biotecnoloxía, Bioloxía Molecular e Biomedicina. A súa actividade investigadora céntrase nos microorganismos asociados á deterioración e á seguridade dos alimentos de orixe mariña, combinando microbioloxía aplicada, bioloxía molecular, análise de datos e modelización predictiva. Traballou no desenvolvemento de estratexias para o control de patóxenos alimentarios, así como en ferramentas de monitorización da calidade e vida útil de produtos pesqueiros mediante técnicas microbiolóxicas avanzadas e modelos matemáticos.

Desafíos actuais na avaliación da calidade dos produtos da pesca

A aceptabilidade dun peixe ou marisco fresco e, en consecuencia, o seu valor comercial, veñen determinados fundamentalmente polo seu grao de frescura. Co fin de avaliála, a industria e o consumidor recorren xeralmente á análise de propiedades sensoriais como o aspecto da pel, as branquias ou os ollos, atendendo á súa inmediatez, baixo custo e simplicidade.

Na Unión Europea, **a análise sensorial regúlase mediante o Regulamento (CE) nº 2406/96**, que impón senllos esquemas xerais para peixe branco, peixe azul e elasmobranquios, aplicando así os mesmos criterios a especies moi diferentes (por exemplo, o atún e a sardiña). Ante este enfoque xeneralista, **xurdiu a busca de alternativas que achegasen unha maior especificidade, como o Método do Índice de Calidade (QIM)**, que utiliza esquemas específicos para cada especie e permite predicir a vida útil remanente do produto. Porén, este método segue condicionado tanto pola interpretación subxectiva do avaliador como por unha normativa que prioriza a simplicidade do sistema actual fronte á dificultade de aplicar a enorme variabilidade de esquemas específicos de xeito masivo.

Alternativamente, **disponse de métodos analíticos de alta precisión para avaliar a frescura de maneira obxectiva.** Non obstante, presentan limitacións operativas: son laboriosos, requiren moito tempo, precisan persoal especializado e implican a destrución da mostra. Estas barreiras fan que resulten inviables para o control de calidade en tempo real, onde a rapidez e a integridade do produto son indispensables. Ademais, o control de calidade actual, tanto sensorial como analítico, baséanse en mostraxes aleatorias, ante a imposibilidade técnica de examinar individualmente cada exemplar, o que exclúe a gran maioría da produción.

Visión artificial e imaxe hiperespectral: o futuro do control de calidade?

Estas limitacións orientaron a investigación cara ao uso de sistemas de visión artificial, capaces de facilitar unha inspección non destrutiva de alto rendemento coa que avaliar, de forma obxectiva e en tempo real, cada peza de maneira inmediata. A súa implementación permitiría eliminar o sesgo humano e a necesidade de realizar extrapolacións, garantindo un control de calidade integral e constante na liña de produción. Entre as opcións desenvolvidas neste ámbito, **a tecnoloxía de imaxe hiperespectral (HSI, polas súas siglas en inglés) emerxeu como unha alternativa especialmente prometedora.** A HSI captura información

espectral detallada ao longo dun amplo rango de lonxitudes de onda, permitindo a medición indirecta de indicadores de calidade específicos que non son visibles ao ollo humano.

Casos de estudo: pescada e rodaballo

Para validar o potencial desta tecnoloxía en escenarios reais, o sistema púxose a proba monitorizando a evolución da calidade da pescada en toros e do rodaballo enteiro baixo diferentes temperaturas de conservación. Este traballo realizouse no marco do Programa de Ciencias Mariñas (ThinkInAzul), financiado polo Ministerio de Ciencia e Innovación e a Xunta de Galicia con fondos da Unión Europea (NextGenerationEU/PRTR-C17.I1 e FEMP/FEMPA) e integrou análises sensoriais, químicas e microbiolóxicas para definir con precisión os patróns de alteración de ambos produtos. Paralelamente, levouse a cabo a adquisición de imaxes mediante dúas cámaras hiperespectrais nun rango que abrangue desde a luz visible ata o infravermello próximo. Baixo a hipótese de que este espectro constitúe unha pegada dixital óptica capaz de vincular a luz reflectida co grao de frescura do peixe, procedeuse seguidamente a validar a súa correlación cos índices de frescura máis relevantes nestas especies.

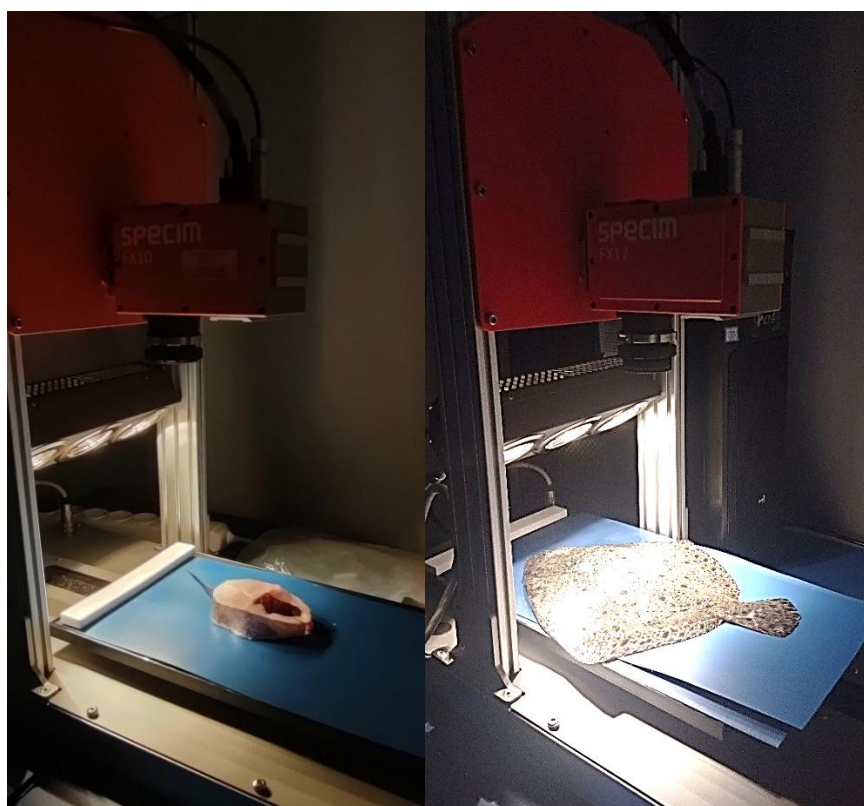


Figura 1. Funcionamento da cámara hiperespectral durante a captura de imaxes de toro de pescada e peza de rodaballo.

Co obxectivo de interpretar esta información, adestráronse algoritmos de intelixencia artificial utilizando tanto os datos analíticos reais obtidos como datos sintéticos para reforzar o adestramento dos modelos. O sistema aprendeu así a interpretar a firma espectral de cada peza e transformar a información capturada pola HSI en diagnósticos de calidade obxectivos de xeito automáticos. **Isto permitiría monitorizar o proceso de alteración do peixe de xeito obxectivo en tempo real, asignando o grao de frescura correspondente sen necesidade de depender das metodoloxías tradicionais.**

No caso da pescada, o sistema logrou predicir a frescura e a carga bacteriana cunha fiabilidade superior ao 90%. Estes resultados igualan e, en casos críticos, poden superar a precisión dos métodos de inspección tradicionais ao eliminar a subxectividade do avaliador e detectar cambios no infravermello non perceptibles sensorialmente. Isto permitiría detectar o deterioro incluso antes de que sexa perceptible, transformando o control de calidade nunha ferramenta de decisión preventiva. Pola súa banda, **o modelo deseñado para o rodaballo conseguiu estimar cunha precisión excelente a frescura real a través de indicadores clave como os nucleótidos,** adaptándose con éxito á complexidade de analizar un peixe enteiro por ambas caras. En definitiva, este estudo demostrou que o HSI é capaz de automatizar a avaliación da calidade de peixe fresco cunha obxectividade constante.

En conclusión, a tecnoloxía HSI posiciónase como unha solución estratéxica na que afondar cara a que a industria pesqueira realice unha inspección non destrutiva, obxectiva e automática da calidade do peixe fresco. A diferenza dos métodos tradicionais, esta ferramenta permite escanear a totalidade da produción en tempo real, e incluso predicir a vida útil remanente de cada peza. A súa integración en plantas de procesado, lonxas ou centros de distribución **facilitaría a clasificación automática por categorías de calidade, optimizando a loxística comercial e minimizando perdas económicas.** En definitiva, esta tecnoloxía pode automatizar a determinación do grao de frescura, garantindo unha xestión dos recursos máis eficiente que facilite reducir o desperdicio alimentario e reforzar a seguridade e confianza do consumidor final.