

UAB

Universitat Autònoma de Barcelona



FACULTAT DE VETERINÀRIA

Departament de Ciència Animal i dels Aliments

Máster Oficial en Calidad de Alimentos de Origen Animal

Trabajo presentado para la superación de los 15 créditos del
Módulo Trabajo Fin de Máster

SITUACIÓN DEL FRAUDE EN PESCADO A NIVEL MUNDIAL

Meritxell Saubi Oriol

Tutora: Dra Reyes Pla Soler

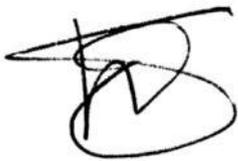
Bellaterra, 3 de septiembre de 2018

INFORME DEL TUTOR

Dra. Reyes Pla Soler, Catedrática de Tecnología dels Aliments del Departament de Ciència Animal i dels Aliments

INFORMA

Que el trabajo titulado: “**SITUACIÓN DEL FRAUDE EN PESCADO A NIVEL MUNDIAL**” ha sido realizado bajo mi supervisión y tutela por la Sra Meritxell Saubi Oriol dentro del módulo “Trabajo Fin de Máster” del Máster Oficial en Calidad de Alimentos de Origen Animal de la Universitat Autònoma de Barcelona.

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'R' and 'P' followed by a large loop and a horizontal line extending to the left.

Reyes Pla Soler

A 3 de septiembre de 2018

Facultat de Veterinària, Universitat Autònoma de Barcelona (UAB)

AGRADECIMIENTOS

A Reyes, por dedicarle su tiempo y mimo en la corrección de este Trabajo Final de Máster.

Y a mi familia y amigos por el apoyo moral.

ABREVIATURAS

Administrative Assistance and Cooperation System (AAC)

Association of Official Agricultural Chemists (AOAC)

British Retail Council (BRC)

Code of Federal Regulations (CFR)

Dirección General de Sanidad y Seguridad Alimentaria (DG SANTE)

DNA Data Bank of Japan (DDBJ)

EU Food Fraud Network (FFN)

European Bioinformatics Institute (EBI)

Fish Aggregating Devices (FAD)

Food and Drug Administration (FDA)

Food Safety and Inspection Service (FSIS)

Food Safety Modernization Act (FSMA)

International Featured Standards (IFS)

Isoelectric Focusing (IEF)

Kilogramo (kg)

Knock Out (K.O.)

National Center for Biotechnology Information (NCBI)

Official Controls Regulation (OCR)

Oficina de Alimentos y Veterinaria (OAV)

Operaciones Policiales Internacionales tras el Fraude Alimentario (OPSON)

Polymerase Chain Reaction - Restriction Fragment Length Polymorphism (PCR-RFLP)

Polymerase Chain Reaction (PCR)

Quick Response Code (QR)

Rapid Alert System for Food and Feed (RASFF)

Reversed.Phase High-Performance Liquid Chromatography (RP-HPLC)

Sodium Dodecyl Sulfate Polyacrylamide Gel Electrophoresis (SDS-PAGE)

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN)

United States Department of Agriculture (USDA)

World Wildlife Fund (WWF)

ÍNDICE

Página

RESUMEN/ABSTRACT	1-2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. SITUACIÓN ACTUAL DEL FRAUDE EN PESCADO	5
2.1. TIPOS DE FRAUDE	8
2.2. CONSECUENCIAS	9
2.3. LEGISLACIÓN REFERENTE AL FRAUDE Y AL CORRECTO ETIQUETAJE	10
2.3.1. Legislación Europea.....	10
2.3.2. Esquemas de certificación europeos	11
2.3.3. Etiquetaje obligatorio en pescado (UE)	11
2.3.4. Etiquetaje obligatorio en pescado (EEUU)	14
3. MÉTODOS DE PREVENCIÓN Y DETECCIÓN DEL FRAUDE EN PESCADO	15
3.1. PREVENCIÓN DEL FRAUDE EN PESCADO EN LA UE	15
3.2. PREVENCIÓN DEL FRAUDE EN PESCADO EN LOS EEUU	17
3.3. DETECCIÓN DEL FRAUDE MEDIANTE TÉCNICAS ANALÍTICAS	18
3.3.1. Marcadores moleculares.....	18
3.3.2. Bases de datos	18
3.3.3. Técnicas moleculares basadas en análisis de proteínas.....	19
3.3.3.1. Electroforesis en geles de poliacrilamida con dodecilsulfato sódico	19
3.3.3.2. Isoelectroenfoque nativo	19
3.3.3.3. Cromatografía líquida de alta resolución en fase inversa.....	200
3.3.3.4. Espectroscopía de impedancia.....	211
3.3.4. Técnicas moleculares basadas en el análisis de ADN.....	211
3.3.4.1. DNA-barcoding o código de barras de ADN	222
3.3.4.2. Reacción en cadena de la polimerasa	222
3.3.4.3. Reacción en cadena de la polimerasa junto con polimorfismo de longitud de fragmentos de restricción	233
3.3.4.4. Reacción en cadena de la polimerasa a tiempo real	244
4. NUEVA TECNOLOGÍA PARA LA DETECCIÓN DEL FRAUDE EN PESCADO: MÉTODO BLOCKCHAIN	255
5. CONCLUSIONES	277
6. BIBLIOGRAFÍA	288
ANEXO	1

ÍNCIDE DE GRÁFICAS, TABLAS E IMÁGENES

Página

Gráfica 1. Evolución del etiquetado erróneo de pescados en la UE de 2003 hasta 2015.....	7
Tabla 1. Recopilación de los tipos de fraude en pescado más frecuentes.....	8
Tabla 2. Riesgos principales que conlleva el fraude en pescado y sus consecuencias.....	9
Figura 1. Ejemplo de etiqueta para producto fresco, sin transformar y envasado. Menciones obligatorias en rosado y menciones voluntarias en azul.....	14
Figura 2. Ejemplo de etiqueta para un producto transformado. Menciones obligatorias en rosado y menciones voluntarias en azul.....	14
Figura 3. Agentes que intervienen en la Red de Fraude Alimentario de la UE (FFN)	16
Figura 4. Patrones IEF de proteínas sarcoplasmáticas de muestras de lenguado. La banda de parvalbúmina estable al calor característica de <i>S. solea</i> se indica con una flecha.....	20
Imagen 1. Código QR del servicio Pike-perch radar que permite la información acerca de la trazabilidad del filete de pescado fresco	26

ANEXO

Figura 1. Mapa interactivo Oceana donde cada icono de peces representa un estudio sobre fraude en pescado según la zona geográfica.....	1
Imagen 1. Puede ser casi imposible identificar con precisión las especies de peces presentes en un producto a simple vista, como sucede en estos dos filetes rebozados de bacalao del Atlántico (<i>Gadus morhua</i>) (izquierda) y “pangasius” (<i>Pangasianodon hypothalamus</i>) (derecha)	3
Tabla 1. Efecto del etiquetado incorrecto en especies substituidas por otras con peligro potencial para la salud pública.....	3
Imagen 2. Atún antes (izquierda) y después (derecha) de tratarlo con sustancias que alteran su color para parecer fresco.	4
Imagen 3. Fragmento del reportaje “Precios y procedencia, principales factores de fraude en la venta de pescado y marisco, 'En el punto de mira'”. A la derecha percibe de procedencia española, a la izquierda de procedencia marroquí por el que se remplazaba.....	5

RESUMEN

Se ha analizado la situación del fraude en pescado a nivel mundial, haciendo hincapié en la EU y en los EEUU, dado que en conjunto son los dos mayores importadores de pescado. Se estima que el fraude en pescado alcanza al 34 % de las transacciones a nivel global, afectando tanto económicamente como a la salud pública o al medioambiente. Se da en cualquier punto del circuito de aprovisionamiento y principalmente puede ser por adulteración, por procedencia o por pesca ilegítima.

La gran cantidad de estudios realizados en todo el mundo demuestra que el fraude en pescado es un grave problema, y que hay preocupación en detectarlo y erradicarlo. De hecho, en la UE parece haber relación entre una mejora en la legislación sobre pescado y la disminución del etiquetado erróneo y, por consiguiente, del fraude. Por eso, si EEUU tomara medidas legislativas similares podría suponer, en conjunto, una gran fuerza coercitiva hacia al resto de países.

Existen análisis basados en el ADN que pueden ayudar a la identificación de especies y, por lo tanto, determinar si hay fraude. Aún así, la gran diversidad en pescados y sus derivados, hace difícil evitar el fraude mundial al completo, en especial en los países menos desarrollados.

Nuevas tecnologías emergen por la necesidad de dar transparencia a la cadena de suministro, como es el caso de la tecnología *blockchain*, un sistema que permite al consumidor consultar mediante su *smartphone* la trazabilidad del pescado que vaya a comprar, y que ya se trabaja en pruebas piloto.

ABSTRACT

The situation of fish* fraud worldwide has been analyzed, with emphasis in the EU and the US situation, given that together they are the two largest importers of seafood. It is estimated that fish fraud reaches 34 % of global transactions, affecting economically, public health and environment. It occurs at any point of the supply chain and can mainly be by adulteration, in the origin or by illegitimate fishing.

Many studies conducted around the world shows that seafood fraud is a serious problem, and that there is global concern in detecting and eradicating it. In fact, in the EU there seems to be a relationship between an improvement in the legislation on fish and the reduction of erroneous labeling and, consequently, of fraud. Therefore, if the US took similar legislative measures, it could mean a great coercive force towards the rest of the countries.

There are DNA-based analyzes that can help identify species and, consequently, determine whether there is fraud. Even so, the great diversity in fish and its derivatives, makes it difficult to avoid global fraud, especially in less developed countries.

New technologies emerge due to the need of giving transparency to the supply chain, as is the case of blockchain technology, a system that allows consumers to check the traceability of the fish they are going to buy through their smartphone, and that they are already working on tests pilot.

* Including fish such as seafood, shellfish, aquaculture fish, so on.

1. INTRODUCCIÓN

El fraude alimentario ha sido siempre una constante preocupación, en especial a nivel gubernamental, tanto por su carácter ilegal como por sus posibles repercusiones en la salud pública. Los consumidores españoles empezaron a tomar conciencia de ello a raíz del fraude en el aceite de colza (1987)¹ y, en el resto de Europa por el escándalo en la carne de caballo (2013)². Supone una competencia desleal para los pequeños comerciantes y las empresas que trabajan rigurosamente, así como para los consumidores. Por eso, el control se basa en la prevención, la detección y la denuncia, siendo una responsabilidad compartida entre todos los agentes de la cadena alimentaria y los consumidores.

En los últimos años, tanto los gobiernos a través del refuerzo en la legislación sobre el etiquetado, como las propias industrias alimentarias, se han comprometido en establecer una infraestructura que garantice la autenticidad y procedencia de los alimentos con el concepto de la trazabilidad (definida por primera vez en el Reglamento (CE) n° 178/2002). Aunque no existe una definición armonizada para “fraude alimentario”, esto no impide que se adopten medidas coordinadas contra las prácticas fraudulentas. Según Elliott (2018), se entiende como fraude alimentario cualquier acción ejercida por empresas o individuos que engañan a otros negocios o individuos en términos de tergiversación de alimentos, ingredientes alimenticios o envasado, para obtener una ganancia económica.

Entre otros aspectos, la Resolución del Parlamento Europeo (C 482/22)³, aprobada en 2014, sobre la crisis alimentaria, el fraude en la cadena y su control señala que entre los alimentos de mayor actividad fraudulenta se encuentra el pescado⁴. Esto se da por la complejidad en la cadena de suministro, con alimentos que pueden llegar a ser muy procesados, y que continuamente hay variabilidad en la oferta y la demanda (Elliott, 2018).

¹ https://elpais.com/politica/2017/03/29/actualidad/1490776807_745908.html

² http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-14-113_en.htm

³ http://agricultura.gencat.cat/web/.content/04-alimentacio/lluïta-frau-alimentari/enllacos-documents/fitxers-binariis/INFORMACION_2016_C-482_04.pdf

⁴ Se usará el concepto de “pescado” en el texto TFM para referirse tanto al pescado como a los productos de la pesca y de la acuicultura, los mariscos, los crustáceos y otros similares.

Según Oceana⁵, la mayor organización de defensa internacional centrada en la conservación de los océanos, de los pescados comúnmente mal etiquetados a nivel mundial se encuentran la lubina chilena (*Dissostichus eleginoides*), el bacalao del Pacífico (*Gadus macrocephalus*), el bacalao del Atlántico (*Gadus morhua*), el mero (*Epinephelinae* spp), el fletán del Pacífico (*Hippoglossus stenolepis*), el salmón real (*Oncorhynchus tshawytscha*), el salmón rojo (*Oncorhynchus nerka*), la lubina (*Dicentrarchus labrax*), el pargo (*Pagrus pagrus*), el pargo rojo (*Lutjanus campechanus*), el mendo limón (*Microstomus kitt*) y el bonito del Norte (*Thunnus alalunga*). De acuerdo con un informe publicado en 2016, Warner *et al.* estiman que, a nivel mundial, 1 de cada 5 muestras de pescado están mal etiquetadas. En ese mismo trabajo, también incluyeron los recientes desarrollos de la Unión Europea (UE) para acabar con la pesca ilegal y mejorar la transparencia en la cadena de suministro.

Los gobiernos, a través de diferentes organismos, velan por el cumplimiento de las leyes antifraude mediante diversas medidas preventivas y mecanismos de detección. Por ejemplo, en la UE existe la Red de Fraude Alimentario (*EU Food Fraud Network*, FFN) o en Estados Unidos de Norteamérica (EEUU) la Administración de Medicamentos y Alimentos (*Food and Drug Administration*, FDA). Gracias al intercambio bilateral de información entre la industria alimentaria y el gobierno, mediante bases de datos como, por ejemplo, en la UE, el Sistema de Alerta Rápida para Alimentos (*Rapid Alert System for Food and Feed*, RASFF)⁶ creado en 1979, se pueden advertir las sospechas y casos reales de etiquetado erróneo y adulteración alimentaria de una manera más eficaz.

En los buques pesqueros se utilizan las claves taxonómicas para reconocer y diferenciar una especie de pescado de otra. Sin embargo, durante el procesamiento, cuando es prácticamente imposible diferenciarlas, se pueden usar técnicas basadas en la identificación de especies a partir de proteínas. Actualmente, el método de detección más conocido y usado es la prueba con ADN (Lago *et al.*, 2014).

Otras tecnologías que están en pleno desarrollo como el *blockchain*, que consiste en un registro del seguimiento del lote mediante una red segura y múltiple de ordenadores y donde cualquier usuario puede consultar los movimientos utilizando un *smartphone*, permite una trazabilidad más precisa e inquebrantable (Orlowki, 2018).

⁵ http://usa.oceana.org/our-campaigns/seafood_fraud/campaign

⁶ https://ec.europa.eu/food/safety/rasff_en

El etiquetado de los alimentos, con la información a facilitar al consumidor, debe garantizar la transparencia y la veracidad de lo que se comunica (Reglamento (UE) nº 1169/2011). Por otro lado, se ha demostrado que, ciertos productos que tienen legislación específica de qué y cómo se debe informar a través de las etiquetas, no siempre se ajustan a los requerimientos legales. Teniendo en cuenta todas estas observaciones, el objetivo del presente TFM es recoger y analizar la información ('*state of the art*') disponible sobre la situación del fraude en pescado a nivel mundial centrándose especialmente en los dos mayores importadores de pescado: EU y EEUU (FAO, 2016), dando a conocer los diferentes tipos de fraude para este alimento y presentando los métodos que se usan actualmente para su prevención y detección, así como nuevas tecnologías de trazabilidad que se están empezando a implementar.

2. SITUACIÓN ACTUAL DEL FRAUDE EN PESCADO

En 2014, Oceana documentó el impacto del fraude en pescado a partir de una recopilación bibliográfica de 29 países de todo el mundo, siendo el informe más amplio sobre este tipo de fraude hasta entonces, publicado por Warner *et al.* (2016). Repasaron más de 200 estudios con el objetivo de identificar las tendencias generales del fraude en pescado, incluyendo si había o no regulación implicada. Su conclusión fue que el 34 % de las 25.700 muestras de pescado analizadas estaban mal etiquetadas. Se encontró fraude en todos los niveles de la cadena de suministro, aunque la mayor parte fue a nivel minorista. Las especies más frecuentes por etiquetado incorrecto variaban de un país a otro. Por ejemplo, en los EEUU fueron el pargo, el mero y el salmón, y el etiquetado erróneo se estimó en un 28 %; en Europa fueron el bacalao, la merluza y el lenguado, y el etiquetado erróneo se estimó en un 14 %; y en los demás países fueron el bacalao, el marisco y el pargo. En otro estudio del mismo año, Pardo *et al.* (2016) revisaron 51 estudios y hallaron un 30 % de fraude en pescado, siendo un valor similar al publicado por Oceana.

En algunas ocasiones, aunque el etiquetado está dentro de la legalidad, los consumidores pueden ser inducidos al error. Por ejemplo, la UE permite a cada Estado miembro adoptar su propia política comercial, dentro de la normativa europea. En el

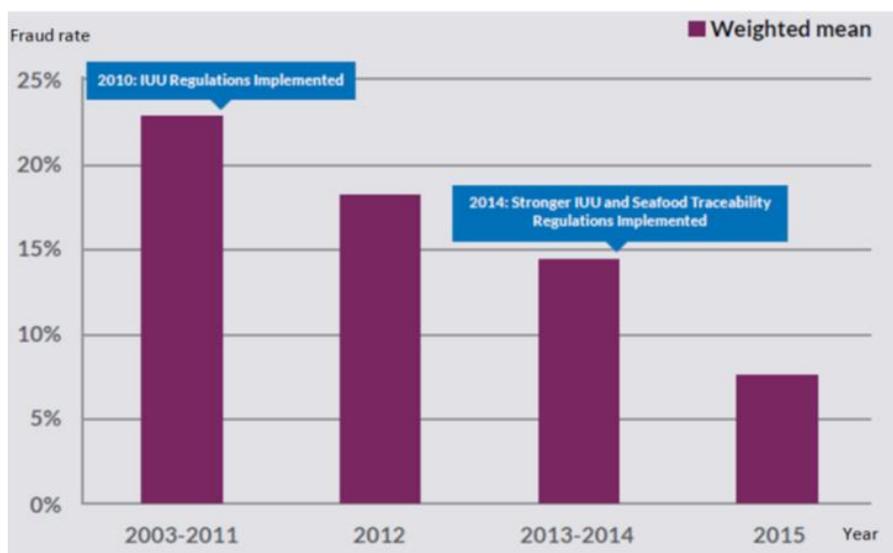
caso de Francia, *colin* es el nombre para nombrar a seis especies diferentes, incluida la merluza, el carbonero, el abadejo europeo, el abadejo de Alaska, la trama jaspeada e incluso la merluza negra (Armani *et al.*, 2012b). En Grecia se encontró que la merluza, el bacalao, el eglefino y el merlán estaban etiquetados como *bakaliaros* (Armani *et al.*, 2015). Otro ejemplo se da en un estudio de Tasmania donde no se encontró fraude explícito, pero se puso de relieve la falta de claridad en el etiquetado vendiendo merluza como bacalao ahumado, acción que está permitida en virtud de la *Australia's Seafood Labeling Rules* (Lamendin *et al.*, 2015). Esta confusión al consumidor también ocurre en los EEUU, donde hay 66 especies que se permiten vender como mero (Cox *et al.*, 2013).

Con la intención de reforzar la legalidad acerca del fraude en pescado, la UE promulgó algunas de las primeras y más estrictas disposiciones legales del mundo para detener la pesca ilegal. En el año 2000, la UE comenzó a desarrollar leyes destinadas a asegurar la trazabilidad del pescado y a proporcionar una información más coherente a los consumidores (Españeira y Vieites, 2012). En 2012 entró en vigor del Reglamento (CE) n° 1224/2009, sobre el control para garantizar el cumplimiento de las normas de la política pesquera común. Este reglamento incluye los pilares básicos de trazabilidad, como la identificación por lotes, y fue modificado por el Reglamento (UE) n° 1379/2013, que establece la organización común de mercados en el sector de los pescados y de la acuicultura.

En la Gráfica 1 se puede observar las consecuencias de la implementación de las regulaciones comentadas en el párrafo anterior. En concreto, se aprecia el porcentaje medio de errores en el etiquetado de todos los estudios revisados por Oceana, según la cantidad de muestra analizada para cada año. Las especies más estudiadas, ordenadas por orden de cantidad de estudios, fueron el bacalao, la merluza, el lenguado, el atún y el mero. El estudio muestra una marcada disminución del etiquetado incorrecto en la UE desde 2011 hasta 2016, lo que parece coincidir con la adopción de medidas más restrictivas contra la pesca ilegal (Warner *et al.*, 2016).

El estudio de Warner *et al.* (2016) parece indicar que la aplicación de la trazabilidad en la UE, el aumento del control en la actividad pesquera, el etiquetado obligatorio y la concienciación del consumidor, son responsables de la disminución de las tasas del etiquetado erróneo. Además, no se observa ninguna tendencia similar ni en los EEUU ni

en otra región sin estos requisitos (Warner *et al.*, 2016). Si EEUU adoptara requisitos similares o más estrictos que los de la UE, significaría que los dos mayores importadores de pescado del mundo podrían ejercer una influencia significativa al resto de países en cuanto a la producción de pescado, garantizando la legalidad, la inocuidad y el etiquetado leal. Actualmente, muchas especies de pescado que se comercializan en los EEUU se etiquetan con nombres generales, creando confusión al consumidor. Según una campaña iniciada por Oceana, la propuesta es poder etiquetar a todos con el nombre científico completo, como se hace obligatoriamente en la UE (Lowell *et al.*, 2015).



Gráfica 1. Evolución del etiquetado erróneo de pescados en la UE de 2003 hasta 2015. (Fuente: Warner *et al.*, 2016).

A raíz de la necesidad de asegurar la integridad de la cadena alimentaria, nació el proyecto europeo *Food Integrity*⁷, en el cual se ha analizado la adulteración y la descripción errónea a nivel del continente europeo de productos como el aceite de oliva, las bebidas espirituosas, o los productos pesqueros. En el caso de estos últimos, se centraron en cuatro países: Islandia (mayor exportador de pescado), Noruega (mayor exportador de pescado acuícola y pesquero), España (principal importador pesquero en Europa y gran exportador) y Gran Bretaña (uno de los mayores importadores de pescado). Más de 300 muestras procedentes de restaurantes de bajo precio, de catering y comida para llevar se analizaron en el centro tecnológico Azti Tecnalia, especialistas en metodología analítica que permiten analizar la autenticidad y el origen de la materia prima. Los principales resultados obtenidos fueron que el 50 % (± 9)⁷ de los

⁷ <http://www.azti.es/wp-content/uploads/2018/02/Etiquetado-err%C3%B3neo-de-pescado-en-el-sector-HORECA-en-Espa%C3%B1a.pdf>

restaurantes analizados sirvieron platos de pescado que no correspondían con lo indicado en el menú, de este porcentaje el 71 % (± 10)⁷ se debía a una motivación económica, ya que la especie de pescado detectada era más barata que la declarada. De entre todos los pescados analizados los mayores porcentajes de etiquetado erróneo, en orden decreciente, fueron en mero, pez mantequilla, cazón, lenguado, merluza y atún rojo. El objetivo final del proyecto era implementar sistemas de control tanto desde el propio sector, como desde la administración, para proteger al sector de las prácticas de adulteración e incrementar la confianza del consumidor.

2.1. TIPOS DE FRAUDE

Es importante, tanto para el consumidor como para la industria, tener conciencia de los principales tipos de fraude, que según Elliot (2018) son: adulteración, procedencia y comercio ético, tal como se explica en la Tabla 1. Para más información con algunos ejemplos se puede consultar el Anexo adjunto.

Tabla 1. Recopilación de los tipos de fraude en pescado más frecuentes (Fuente: Tabla generada a partir de la conferencia de Elliot, 2018).

ADULTERACIÓN	
<i>Substitución de especies</i>	Es el fraude más común: reemplazar una especie de alto valor económico por una de menor valor. Las consecuencias son tanto económicas como de salud, ya que se paga más por un producto de menor valor y que puede generar reacciones alérgicas o ser potencialmente tóxico. A menudo hay abuso en la cadena de custodia, es decir, en todos los documentos relacionados con la trazabilidad del producto.
<i>Adición de sustancias no declaradas</i>	Por ejemplo, incluir especies baratas en bloques de pescado congelado de alto valor. O bien, añadir más glaseado del que se declara. También se refiere a la inyección de una o varias sustancias no declaradas y desconocidas a pescados con la misma finalidad. Las consecuencias son las mismas que el caso anterior.
PROCEDENCIA	
<i>Substitución pesquera</i>	Sustituir un producto de una pesquería de mala reputación por una de buena reputación, o por aéreas, como por ejemplo la sustitución del bacalao del mar del Norte por el bacalao de Islandia, ya que el de Islandia tiene mejor reputación por sostenibilidad. Las consecuencias recaen en el consumidor que paga más por un pescado capturado sin políticas de sostenibilidad y de zonas medioambientalmente afectadas, pudiendo conllevar riesgos de salud pública. Este fraude se puede ver respaldado por un abuso en la cadena de custodia.

COMERCIO ÉTICO	
<i>Pesca ilegal, no declarada y no regulada</i>	Incluye el pescado capturado por encima de la cuota permitida, el pescado de talla inferior a la reglamentaria o el pescado por buques sin licencia. Resulta difícil detectar el pescado legal del ilegal una vez que se ha iniciado el procesado. El agotamiento medioambiental por este tipo de pesca amenaza también a las comunidades que viven de la pesca legítima.
<i>Fraude por el método de captura</i>	Sustitución del pescado capturado por un método que no corresponde con el que se declara. Por ejemplo, vender pescado de piscifactoría como pescado salvaje o pescado de arrastre por pescado de palangre.
<i>Esclavitud moderna</i>	Cuando se obliga a las personas a trabajar por la fuerza, en este caso en explotaciones pesqueras. Como en el caso de Tailandia (Consultar Anexo).
<i>Bienestar animal</i>	En 2005 la UE adoptó un estándar de bienestar para piscifactorías y en 2008 el <i>World Organisation for Animal Health</i> adoptó una guía de principios para el bienestar de los peces. Aunque también se pone en evidencia el bienestar de los peces capturados en medio silvestre, el punto de mira está en las especies de piscifactorías, a causa de las densidades de población, los métodos de sacrificio y el transporte de los animales en vivo.

2.2. CONSECUENCIAS

El fraude alimentario no sólo afecta económicamente, también puede suponer un riesgo, intencionado o no, para la salud pública. En el caso del fraude en pescado, además de los riesgos mencionados, también intervienen las actividades ilegales que pueden contribuir al agotamiento de los recursos oceánicos. En la Tabla 2 se muestran las principales consecuencias del fraude.

Tabla 2. Riesgos principales que conlleva el fraude en pescado y sus consecuencias (Fuente: Warner et al., 2016).

RIESGO	CONSECUENCIAS
<i>Salud</i>	De las muestras identificadas como especies substituidas, el 58 % presentaban un riesgo para la salud del consumidor (Arnett, 2016), incluyendo parásitos, productos químicos ambientales, medicamentos para la acuicultura, mercurio y otras toxinas naturales como la histamina, la escombrotóxina, la ciguatera, la tetrodotóxina y la gempilotóxina (Asensio et al., 2008a).

<i>Económico</i>	<p>No se sabe con certeza el coste real y global del fraude en pescado, pero sin duda es substancial. Alrededor del 65 % de los estudios revisados incluyen evidencia clara de adulteración del pescado por motivos económicos.</p> <p>El panga (<i>Pangasianodon spp</i>), la especie más usada mundialmente para sustituir dado su bajo precio, ha llegado a suplantar a 18 especies diferentes, entre las más frecuentes están la perca, el mero y el lenguado.</p>
<i>Medioambiental</i>	<p>La sobrepesca, la destrucción del hábitat y la captura incidental han conducido a un grave agotamiento de animales marinos que están amenazados. Para reducir y evitar estos problemas, algunos gobiernos han limitado la cantidad de especies a capturar y prohibir la matanza de especies vulnerables (Narrillos y Elefterie, 2018). Aún así, se sigue practicando la pesca ilegal.</p>

2.3. LEGISLACIÓN REFERENTE AL FRAUDE Y AL CORRECTO ETIQUETAJE

A continuación, se recopila la información que hace referencia al correcto etiquetado y al fraude en pescado tanto en la legislación europea como en la de los EEUU, ya que como se ha comentado previamente, ambos son los dos mayores importadores de pescado (FAO, 2016).

2.3.1. Legislación Europea

La finalidad principal del Control Oficial para la lucha contra el fraude en productos alimentarios es la protección de los intereses económicos y la salud de todos los implicados en la cadena agroalimentaria, en relación con la conformidad y calidad de los productos y asegurar su transparencia y competencia leal. Para ello, la UE cuenta con diferentes reglamentos:

- Reglamento (CE) nº 178/2002 sobre los principios y requisitos generales de la legislación alimentaria, se crea la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria y se fijan procedimientos relativos a la seguridad alimentaria. En el Artículo 8, sobre la protección de los intereses de los consumidores, especifica que la legislación tendrá como objetivo proteger los intereses de los consumidores.
- Reglamento de ejecución (UE) nº 931/2011 de la Comisión, relativo a los requisitos en materia de trazabilidad establecidos por el Reglamento (CE) nº 178/2002, en su Artículo 3 incluye la trazabilidad de alimentos de origen animal.

- Reglamento (CE) n° 882/2004 sobre los controles oficiales efectuados para garantizar la verificación del cumplimiento de la legislación en materia de piensos y alimentos, y la normativa sobre salud animal y bienestar de los animales. Uno de sus objetivos es avalar las prácticas equitativas en lo que respecta al comercio de alimentos, y garantizar la protección de los intereses de los consumidores con el etiquetado de alimentos.
- Reglamento (UE) n° 2017/625 sobre los controles oficiales y otras actividades oficiales realizadas para garantizar la aplicación de la ley de alimentos y piensos. Abarca como fortalecer la lucha contra los fraudes para que las Autoridades Competentes tengan en cuenta la probabilidad de comportamientos fraudulentos.
- Reglamento (CE) n° 1005/2008 sobre el sistema comunitario para prevenir, desalentar y eliminar la pesca ilegal, no declarada y no reglamentada.

2.3.2. Esquemas de certificación europeos

Para la industria también es de relevante importancia que los principales estándares de certificación de la calidad e inocuidad alimentaria europeos (BRC e IFS) incluyan requisitos sobre la autenticidad del producto y sobre la valoración del riesgo en fraude, para así garantizar y dar confianza a sus productos (Fernández *et al.*, 2017):

- La *British Retail Council* (BRC) en su versión 7 incluye requisitos referidos a la adulteración de alimentos. Según BRC para minimizar el riesgo de comprar materias primas fraudulentas o contaminadas, hay que seguir una serie de pautas, tales como: acceder a la información sobre amenazas pasadas y presentes, evaluar de forma documentada las materias primas según su vulnerabilidad y, en el caso de que haya peligro de adulteración, tener acceso a la garantía y/o prueba de reducir el riesgo.
- La *International Featured Standards* (IFS) incluye el fraude como requisito (“*knock out*” o K.O.) en su versión 6, donde, al igual que BRC, también obliga a la empresa a tomar las medidas apropiadas para minimizar el fraude por parte de los proveedores.

2.3.3. Etiquetaje obligatorio en pescado (UE)

Según el Reglamento (UE) n° 1379/2013 sobre la organización común de mercados, es obligatorio que se indique en la etiqueta las menciones descritas en el Artículo 35.

Además, la etiqueta también debe ir acorde con la información obligatoria que exige el Reglamento (UE) nº 1169/2011 sobre la información alimentaria facilitada al consumidor. De las menciones obligatorias de la etiqueta, que se interpretan que pueden suponer un engaño o confusión al consumidor si se aluden (Fernández *et al.*, 2017) son:

- **La denominación comercial de la especie y su nombre científico:**

Estos alimentos deben mostrar tanto la denominación comercial del producto como su nombre científico. Ambas denominaciones deben corresponder con las que contiene la lista oficial elaborada y publicada en cada país de la UE (en España está publicado en el BOE núm. 53, sec III⁸ y se actualiza cada año).

- **El método de producción o captura**

- **La zona de producción o captura y la categoría del arte de pesca**

- **Si el producto ha sido descongelado:**

Pero el requisito no se aplicará ni a los ingredientes que contenga el producto acabado, ni a los alimentos para los que la congelación es una fase del proceso de producción técnicamente necesaria, ni a pescados previamente congelados por motivos sanitarios, ni a pescados que hayan sido descongelados antes de aplicar procesos tales como el ahumado, salazón, cocción, escabechado, secado, o una combinación de ellos.

- **Cantidad neta (peso neto) en gramos o kilogramos:**

Si el alimento se presenta en un líquido de cobertura es necesario especificar también su peso neto escurrido, y si se ha glaseado, su peso neto declarado debe excluir el peso del glaseado.

- **Fecha de congelación o fecha de primera congelación:**

Este requisito sólo se aplica a los productos sin transformar.

- **Agua añadida:**

El agua añadida debe figurar en la lista de ingredientes, de conformidad con el Reglamento (UE) nº 1169/2011. En el caso de los pescados con la apariencia de corte, loncha, parte, filete o producto de la pesca entero, también debe indicarse en la denominación del alimento el agua añadida si ésta supone más del 5 % del peso del producto acabado.

⁸ <https://www.boe.es/boe/dias/2018/03/01/pdfs/BOE-A-2018-2884.pdf>.

- **El operador está obligado a utilizar el término «elaborado a partir de piezas de pescado»:**

Si los productos dan la impresión de que están hechos de una pieza entera de pescado pero en realidad constan de diferentes piezas combinadas.

- **Marca de identificación:**

Tanto si el producto se produce o se importa a la UE, debe mostrarse el nombre del país de origen y el número de autorización del establecimiento en el que tenga lugar la producción.

- **Fecha de embalado (mínimo día y mes):**

Esta fecha debe figurar en los moluscos bivalvos vivos.

- **País de origen**

- **La fecha de duración mínima, cuando proceda**

- **Información sobre alérgenos**

- **Condiciones de conservación**

- **Información nutricional**

Además de los datos obligatorios que se exigen a los pescados, también puede facilitarse otra información de forma voluntaria, siempre que ésta sea clara, carente de ambigüedad, esté basada en datos científicos pertinentes y no induzca a engaño al consumidor.

En la Figura 1 y en la Figura 2 se muestran dos ejemplos de etiquetas elaboradas por la Comisión Europea⁹ para los pescados según si el producto es fresco, sin transformar ni envasar (Figura 1) y según si es para un producto transformado (Figura 2). Se indican tanto las menciones obligatorias como las voluntarias.

⁹ https://ec.europa.eu/fisheries/sites/fisheries/files/docs/body/eu-new-fish-and-aquaculture-consumer-labels-pocket-guide_es.pdf

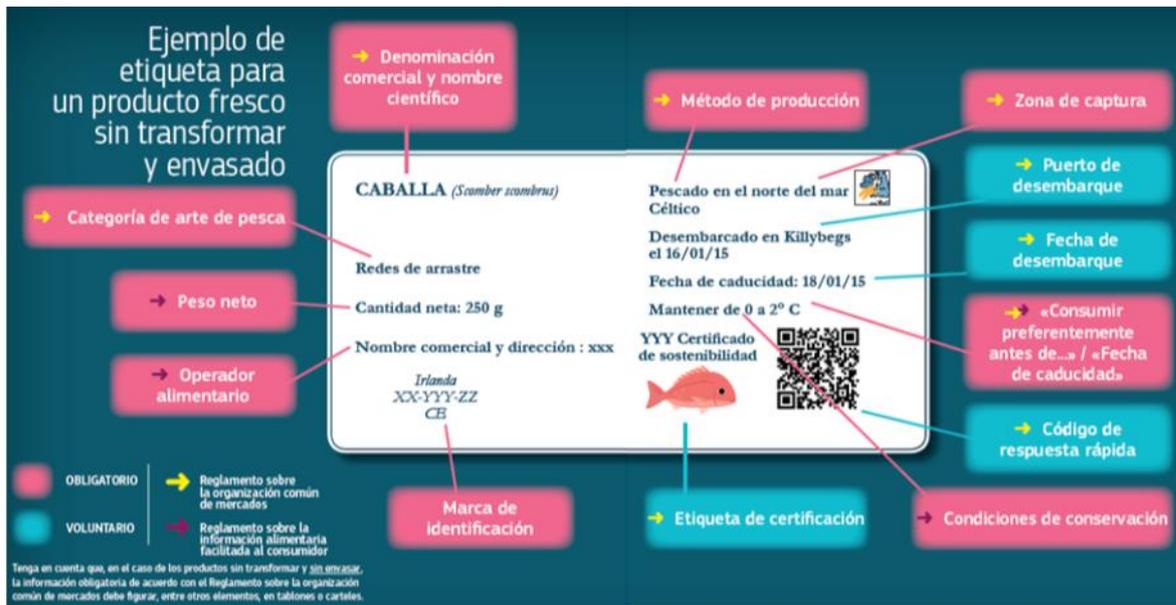


Figura 1. Ejemplo de etiqueta para producto fresco, sin transformar y envasado. Menciones obligatorias en rosado y menciones voluntarias en azul (Fuente:⁹).



Figura 2. Ejemplo de etiqueta para un producto transformado. Menciones obligatorias en rosado y menciones voluntarias en azul (Fuente:⁹).

2.3.4. Etiquetaje obligatorio en pescado (EEUU)

Según la legislación de los EEUU, *Code of Federal Regulations* (CFR) Título 7, Subtítulo B, Capítulo I, Subcapítulo C, Parte 60 sobre el etiquetado del país de origen para el pescado, los minoristas deberán cumplir los siguientes requisitos para los pescados (GPO, 2014):

- El etiquetado de los productos como los fileteados debe contener el país de origen y el método de producción. En cambio, los establecimientos de servicio de alimentos como los restaurantes o similares, están exentos de indicar este contenido.
- Las declaraciones del país de origen y el método de producción pueden ser en forma de cartel, letrero u otro formato siempre que dé esta información. Se pueden nombrar como “salvaje capturado”, “salvaje”, “criado en granjas”, “cultivado” o una combinación de éstos para productos mezclados que contengan ambos orígenes. Pueden ser mecanografiados, impresos o escritos a mano siempre que sea visible e inteligible. El país de origen debe ser escrito correctamente y sólo hay excepciones de abreviaturas, pero no se aceptan las banderas.

Además, el etiquetaje en pescado en EEUU también debe respetar el Código de los Estados Unidos, Título 21, Capítulo 9, Sección 403 (b), sobre alimentos mal etiquetados¹⁰ donde dice que se considerará que un alimento está mal etiquetado si se ofrece a la venta bajo el nombre de otro alimento.

En EEUU quien se encarga de detectar el fraude alimentario es la FDA. Como iniciativa para ayudar a las empresas a etiquetar correctamente, la FDA redactó una guía orientativa de los nombres comerciales aceptables para pescados¹¹. En esta lista se incluye el nombre común y científico para identificar y etiquetar la especie.

3. MÉTODOS DE PREVENCIÓN Y DETECCIÓN DEL FRAUDE EN PESCADO

3.1. PREVENCIÓN DEL FRAUDE EN PESCADO EN LA UE

El fraude alimentario se ve como una actividad atractiva, dado que da un alto beneficio y es una prioridad menor para las autoridades policiales y judiciales, en comparación al contrabando de drogas o armas. Por esta razón es importante mejorar la colaboración y la confianza entre los diferentes servicios dentro de la UE¹².

¹⁰ <https://es.scribd.com/document/354690838/FDA-Codigo-de-Regulaciones-Federales-Titulo-21-Etiquetado>

¹¹ <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/fdcc/?set=seafoodlist>

A partir de la crisis de la carne de caballo (2013) se creó la FFN que incluye la colaboración de la policía, las aduanas y la justicia con los expertos (inspectores) en alimentos (Figura 3). Para una coordinación más eficiente, la FFN está compuesta por representantes de la Comisión Europea, por todos los países de la UE y por Suiza, Noruega e Islandia¹².



Figura 3. Agentes que intervienen en la Red de Fraude Alimentario de la UE (FFN). Fuente:¹².

También se implementaron otras iniciativas destinadas a mejorar el sistema de control de la UE que se pueden consultar en la web de la Comisión Europea¹²:

- El Sistema de Asistencia y Cooperación Administrativas (AAC), que desde 2015, permite el intercambio rápido de información sobre posibles fraudes.
- La iniciativa *Better Training for Safer Food*, formación para inspectores de alimentos, policías, funcionarios de aduanas y autoridades judiciales sobre nuevas técnicas de investigación y control del fraude.
- Planes de control coordinado a nivel de la UE.
- El nuevo Reglamento de Controles Oficiales (OCR).

La Dirección General de Sanidad y Seguridad Alimentaria (DG SANTE), a través de su Dirección de Auditoría y Análisis de la Salud y los Alimentos (previamente denominada "Oficina de Alimentos y Veterinaria" - OAV) es quien se encarga a nivel

¹² https://ec.europa.eu/food/safety/food-fraud_en

europeo de que los controles sean efectivos. Para ello efectúa inspecciones en los Estados miembros de la UE y en los países que no pertenecen a la UE pero exportan¹³.

La Comisión recomienda programas de control para evaluar la prevalencia de los peligros en piensos y alimentos. Entre 2013 y 2016, lanzó tres planes de control para la carne de caballo, la miel y la sustitución de pescado. Estos planes se basan en el Artículo 53 del Reglamento (CE) nº 882/2004 y en el Reglamento (UE) nº 1169/2011.

En el plan de control de pescado (2015), consultable en la web de la Comisión Europea¹⁴, las muestras se sometieron a una o más de las siguientes pruebas, las cuales se explican en el apartado 3.3:

- Método de isoelectroenfoque nativo (*Isoelectric focusing*, IEF).
- Método por reacción en cadena de la polimerasa - Polimorfismo de longitud de fragmentos de restricción (*Polymerase Chain Reaction - Restriction Fragment Length Polymorphism*, PCR-RFLP).
- Método *DNA-barcoding* (Secuenciación de ADN usando un protocolo validado).
- Método por cromatografía líquida de alta resolución en fase inversa (*Reversed.Phase High-Performance Liquid Chromatography*, RP-HPLC).

3.2. PREVENCIÓN DEL FRAUDE EN PESCADO EN LOS EEUU

Para poder mejorar la cooperación interinstitucional sobre inocuidad de los pescados y prevención del fraude, la FDA junto con *Food Safety and Inspection Service* (FSIS) y el *United States Department of Agriculture* (USDA), redactaron en 2014 un protocolo de acuerdo (MOU 225-14-0009)¹⁵. De esta manera, se establecen los acuerdos de trabajo entre las agencias y así se facilita la supervisión reguladora de pescado y marisco.

Por otro lado, en 2013 la FDA aprobó la Ley de Modernización de la Seguridad en los Alimentos (*Food Safety Modernization Act*, FSMA)¹⁶, que tiene por objeto prevenir la adulteración deliberada y el daño a la salud pública. Esta norma requiere estrategias de

¹³ https://ec.europa.eu/food/safety/official_controls_en

¹⁴ https://ec.europa.eu/food/safety/official_controls/food_fraud/fish_substitution_en

¹⁵ <https://www.fda.gov/aboutfda/partnershipscollaborations/memorandaofunderstandingmous/domesticmous/ucm396294.htm>

¹⁶ Disponible en: <https://www.fda.gov/downloads/Food/GuidanceRegulation/FSMA/UCM535679.pdf>

mitigación (reducción del riesgo) de los procesos desarrollados en las empresas alimentarias.

3.3. DETECCIÓN DEL FRAUDE MEDIANTE TÉCNICAS ANALÍTICAS

El creciente interés de los consumidores por tener garantías de la calidad de los productos que compran, en especial del pescado, ha incrementado la necesidad por la identificación de especies. Se han desarrollado diversas técnicas para la autenticación de especies de pescado; algunas de ellas se aplican a la identificación del origen geográfico a partir de isótopos mediante espectroscopía de resonancia magnética nuclear, a partir de otolitos¹⁷, mediante espectrometría de masas de relación isotópica y mediante el análisis de perfiles de ácidos grasos (Aursand *et al.*, 1999; Joensen *et al.*, 2000; Secor *et al.*, 2002). Se han adaptado técnicas especializadas para distinguir entre peces silvestres y peces de piscifactoría, como el análisis de perfiles de ácidos grasos y el análisis de metales o isótopos (Villarreal *et al.*, 1994; Aursand *et al.*, 2000; Foran *et al.*, 2004).

3.3.1. Marcadores moleculares

Las técnicas que utilizan el análisis de proteínas se centran en diversas características fisicoquímicas como el tamaño, la carga neta y la composición de aminoácidos. Aunque el análisis de ADN es más complejo que el de proteínas, la gran estabilidad de esta molécula y la gran cantidad de información que proporciona, la convierte en un potente marcador molecular para la identificación de especies (Lago *et al.*, 2014).

3.3.2. Bases de datos

Las bases de datos genéticas más relevantes son las de ácidos nucleicos y de proteínas. Son registros de secuencias de nucleótidos, proteínas, estructuras proteicas, genomas, expresiones génicas, etc., y su función principal es proporcionar acceso libre a partir de las publicaciones científicas. Existen tres bases de datos públicas y gratuitas de ácidos nucleicos procedentes de EEUU, de Europa y de Japón (Lago *et al.*, 2014). Están estrechamente coordinadas a pesar de pertenecer a diferentes agencias, y son:

¹⁷ Definición: <http://www.fao.org/docrep/field/003/AC567S/AC567S03.htm>

- El Centro Nacional de Información Biotecnológica (*National Center for Biotechnology Information*, NCBI): GenBank.
- El Instituto Europeo de Bioinformática (*European Bioinformatics Institute*, EBI): Del Banco de Laboratorio Europeo de Biología Molecular (*European Molecular Biology Laboratory*, EMBL-BANK).
- El Banco de Datos de ADN de Japón (*DNA Data Bank of Japan*, DDBJ).

3.3.3. Técnicas moleculares basadas en análisis de proteínas

Se pueden utilizar diversas metodologías para la identificación de especies de peces mediante el análisis de proteínas. Entre estas técnicas se destacan las siguientes.

3.3.3.1. Electroforesis en geles de poliacrilamida con dodecilsulfato sódico

El fundamento de la electroforesis en geles de poliacrilamida (*Sodium Dodecyl Sulfate Polyacrylamide Gel Electrophoresis*, SDS-PAGE) radica en la separación de las proteínas en un gel de poliacrilamida en función de su masa molecular. Se trata de una técnica sencilla y de bajo coste. Es posible su aplicación en productos que hayan sufrido un proceso de desnaturalización, como en productos cocinados (Sánchez, 2012). El inconveniente radica en que no es posible su utilización en muestras procedentes de mezcla de pescados, y siempre hay que incluir en el gel un patrón de pesos moleculares conocidos (López, 2007).

Algunos ejemplos donde se ha utilizado esta técnica en pescado, aunque no con un objetivo antifraude, ha sido en el estudio sobre el uso potencial de la carne de cajaro para la obtención de surimi y derivados (Sotelo *et al.*, 2008) o las ventajas que proporciona para el estudio de la estructura de las proteínas miofibrilares (Chabela *et al.*, 2015).

3.3.3.2. Isoelectroenfoque nativo

Con la técnica IEF se consigue la separación de las proteínas en función de su punto isoelectrico. Cuando un campo eléctrico se aplica en gradiente de pH, las proteínas migran hacia los diferentes electrodos de acuerdo con su carga eléctrica, pero cuando la proteína alcanza su punto isoelectrico, su migración se detiene y precipita (Westermeyer, 2001). Consta como método oficial para la identificación de especies en la *Association of Official Agricultural Chemists* (AOAC) para el Método Oficial 980.16. A pesar del

amplio uso en la identificación de especies de pescado, en general presenta el inconveniente de no ser posible su utilización con proteínas que hayan sufrido cambios en su estructura, como después de un procesado térmico (Sánchez, 2012).

Algunos ejemplos son la identificación de especies de pescado en productos ahumados (Sotelo *et al.*, 1992; Mackie *et al.*, 2000) donde también hicieron uso de la electroforesis SDS-PAGE, la diferenciación de varias especies de gádidos (Piñeiro *et al.*, 2000), en especies de agua dulce etiquetadas como perca (Berrini *et al.*, 2006), en otras especies como el panga (Rehbein, 2008), la identificación de gambas y camarones para evitar el etiquetado incorrecto (Ortea *et al.*, 2010) o la identificación del lenguado común para evaluar la sustitución de éste en restaurantes (Kappel y Schröder, 2016). En la Figura 4 se muestra un ejemplo de esta técnica.

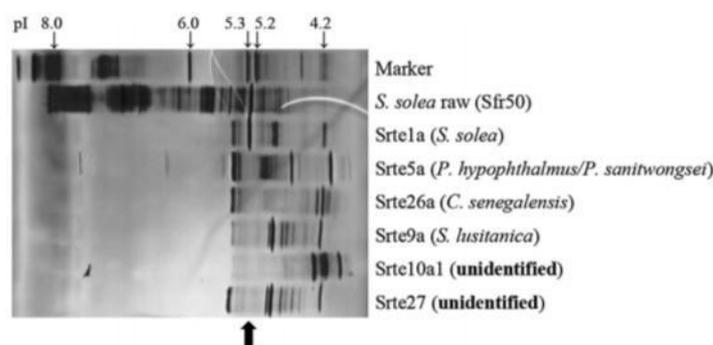


Figura 4. Patrones IEF de proteínas sarcoplasmáticas de muestras de lenguado. La banda de parvalbúmina estable al calor característica de *S. solea* se indica con una flecha (Fuente: Kappel y Schröder, 2016).

3.3.3.3. Cromatografía líquida de alta resolución en fase inversa

La RP-HPLC es un método analítico que separa las moléculas según su polaridad. Debido a sus diferentes movibilidades, los componentes de la muestra se dividen en bandas que pueden ser analizadas cualitativa y cuantitativamente mediante cromatogramas (Westermeier, 2001). Separa las proteínas según su distribución entre una fase móvil polar y una fase orgánica fijada a una matriz (Ashoor *et al.*, 1988). Se obtienen perfiles cromatográficos pertenecientes a cada especie, que pueden compararse con cromatogramas de referencia. La mayor desventaja de esta técnica es que muchas muestras se dañan durante la preparación debido a la degradación o aglutinación de las proteínas sarcoplásmicas. Además, los perfiles cromatográficos complejos dificultan la interpretación de los resultados (Lago *et al.*, 2014).

La técnica RP-HPLC es útil para la identificación de especies de pescado fresco o congelado (Osman *et al.*, 1987; Armstrong *et al.*, 1992), por ejemplo, la identificación de gádidos y la detección de diferencias significativas entre especies de salmónidos y ciprínidos (carpas) (Knuutinen y Harjula, 1998).

3.3.3.4. Espectroscopía de impedancia

La espectroscopía de impedancia consiste en aplicar un estímulo eléctrico a los electrodos, observar la respuesta de la muestra y determinar sus propiedades, interacciones y dependencias con determinados factores (Macdonald *et al.*, 2005). La respuesta eléctrica puede variar substancialmente en función de las cargas presentes (iones libres), la microestructura y la naturaleza del electrolito. Las medidas de impedancia eléctrica dan información acerca del tejido, siempre y cuando lo que se esté analizando presente un cambio en dimensión, en sus propiedades eléctricas o en su conductividad (Geddes y Baker, 1989; Wu *et al.*, 2008). El uso de la espectroscopia de impedancia podría proporcionar un nuevo enfoque para el desarrollo de instrumentos portátiles para la detección de pescados congelados y descongelados (Fuentes *et al.*, 2013).

Hay estudios, por ejemplo, para diferenciar entre dorada (Méndez *et al.*, 2011) o besugo (Fuentes *et al.*, 2013; Pérez-Esteve *et al.*, 2014) congelados, descongelados y frescos.

3.3.4. Técnicas moleculares basadas en el análisis de ADN

El análisis de ADN está en constante desarrollo y se ha convertido en una herramienta molecular de las más precisas. Su uso se ha extendido a muchas y diversas áreas, como el control de la autenticidad de los pescados.

El ADN proporciona más información y tiene muchas más ventajas en comparación con las proteínas, aunque también puede ser alterado durante el procesado de los alimentos. Es mucho más termoestable que una proteína, por eso, es posible amplificar pequeñas regiones de ADN para permitir la identificación (Lago *et al.*, 2014).

Existe una gran variedad de métodos basados en el ADN para identificar especies de peces. Las principales diferencias entre ellas, además de la metodología, son su rango de aplicación, complejidad y coste. A continuación se destacan los más útiles.

3.3.4.1. *DNA-barcoding* o código de barras de ADN

Los códigos de barras de ADN consisten en una secuencia corta estandarizada de ADN, que puede ser fácilmente aislada y caracterizada. El *DNA-barcoding* implica la secuenciación de un fragmento corto del gen mitocondrial citocromo C oxidasa subunidad I (COI), de especímenes taxonómicamente desconocidos, las cuales se pueden comparar con una base de datos de *DNA-Barcoding* de taxonomía conocida (Wilson *et al.*, 2018). La ventaja de esta técnica es que es lo suficientemente simple como para poder secuenciar la muestra de forma rápida y económica pero lo suficientemente eficiente para identificar variaciones entre especies. Según Pollack *et al.* (2018), podría ser un buen método para identificar especies de pescado ya cocinadas.

Se ha usado, por ejemplo, en estudios para comprobar la eficiencia de esta técnica en los que se llegó a identificar doscientas siete especies de pecados (Ward *et al.*, 2005), para detectar la sustitución de especies en el mercado de América del Norte (Wong y Hanner, 2008), en el mercado del sur de Brasil (Carvalho *et al.*, 2015) y en el mercado de Italia (Di Pinto *et al.*, 2015). Recientemente, Shehata *et al.* (2018), junto con la Agencia de Inspección Alimentaria de Canadá han usado esta técnica para identificar pescado mal etiquetado.

3.3.4.2. Reacción en cadena de la polimerasa

La reacción en cadena de la polimerasa (*Polymerase Chain Reaction*, PCR) es un método analítico basado en la detección y amplificación de fragmentos específicos de ADN por medio de cebadores, un par de pequeñas secuencias de nucleótidos que limitan la región a amplificar. La reacción básica de la PCR es una sucesión de ciclos, cada uno con una desnaturalización del ADN para separar las dos cadenas, una alineación de la imprimación con el paso de ADN molde y la polimerización para sintetizar un nuevo ADN. A partir de ahí se inicia un nuevo ciclo. Se utilizan imprimaciones específicas para generar fragmentos que, después de ser separados y visualizados por electroforesis en gel de agarosa, pueden usarse para identificar especies (Lago *et al.*, 2014). Esta especificidad se debe a que las imprimaciones se construyen a partir de regiones de ADN altamente conservadas que tienen muy pocos polimorfismos entre algunas especies. Por lo tanto, se requiere un conocimiento previo del gen a amplificar. La identificación de especies de peces mediante la PCR se puede realizar de dos maneras:

- Por la presencia o ausencia del fragmento a amplificar: por lo tanto, si hay una amplificación de fragmentos específicos para una especie en particular, es posible concluir qué especie es.
- Dependiendo del tamaño del fragmento amplificado: si se observa amplificación es necesario comprobar el tamaño del producto amplificado para realizar la identificación, ya que la especificidad depende del tamaño.

Esta metodología está condicionada a que las diferencias de tamaño de los fragmentos amplificados sean detectables por electroforesis, ya que algunas especies muy emparentadas filogenéticamente pueden amplificar fragmentos de tamaño similar, impidiendo así su total identificación. Para el uso apropiado del método PCR, deben incluirse controles para evitar la posibilidad de falsos positivos o falsos negativos (Lago *et al.*, 2014).

Algunos estudios donde han utilizado esta tecnología son, por ejemplo, en la identificación de especies de salmónidos (Wasko y Galetti, 2003), de mero (Han *et al.*, 2011), o de sardinas (Durand *et al.*, 2010). En la tesis de Galal abd el Gawad (2016), se desarrollaron marcadores moleculares (como la PCR) eficaces para la trazabilidad y la detección de fraude en productos pesqueros procesados y no procesados: filetes de pescado congelados, gambas y moluscos, surimi, piensos de acuicultura y pescado fresco tanto de acuicultura como de pesca extractiva.

3.3.4.3. Reacción en cadena de la polimerasa junto con polimorfismo de longitud de fragmentos de restricción

La PCR-RFLP se utiliza para detectar fragmentos de ADN de diferente peso molecular, obtenidos por fragmentación con enzimas de restricción que reconocen sitios específicos de una región previamente amplificada, y luego se separan por electroforesis. Esta metodología requiere un conocimiento previo del fragmento a analizar, ya que es necesario seleccionar una enzima de restricción que permita detectar polimorfismos. Se obtienen fragmentos de diferentes tamaños que causan un patrón de banda específico para una especie en particular. Aunque es una técnica simple, fácil de realizar y menos costosa que otras técnicas basadas en PCR, también es menos efectiva para la identificación de especies, ya que los patrones obtenidos son difíciles de interpretar y poco reproducibles (Ram *et al.*, 1996; Cespedes *et al.*, 1998).

Esta técnica se ha usado, por ejemplo, en estudios para identificar y diferenciar especies de salmón (Wolf *et al.*, 2000; Rasmussen *et al.*, 2010), de rape (Armani *et al.*, 2012a), de peces comerciales de Taiwán (Chen *et al.*, 2014), de mero (Sumathi *et al.*, 2015), de merluza (Ferrito *et al.*, 2016), de moluscos (Santacalara *et al.*, 2006) e incluso de pepinos de mar (Zeng *et al.*, 2018).

3.3.4.4. Reacción en cadena de la polimerasa a tiempo real

Entre los métodos de análisis de ADN para la identificación de especies, el uso del RT-PCR ha aumentado considerablemente ya que además de permitir la identificación de especies en productos donde hay más de una especie, también permite su cuantificación a tiempo real. La cantidad de ADN puede calcularse según el ciclo en que se detecta el producto por PCR (Lago *et al.*, 2014). La gran diferencia de RT-PCR con respecto a la PCR convencional radica en que la detección de la amplificación no se realiza al final de la reacción, sino durante el transcurso de ésta al comienzo de la fase exponencial, y sin necesidad de un paso posterior de migración electroforética (Sánchez, 2012).

En RT-PCR la presencia de productos de amplificación se transforma en fluorescencia, y esta fluorescencia es detectada y monitoreada por ordenador mientras se da la amplificación. La relación lineal entre el producto de PCR y la intensidad de fluorescencia se utiliza para calcular la cantidad de ADN diana presente al principio de la reacción. A pesar de la rapidez de esta técnica, es necesario tener en cuenta que, debido a que hay especies que están muy relacionadas filogenéticamente, es necesario obtener tanta información de nucleótidos como sea posible para asignar una muestra a una especie dada (Lago *et al.*, 2014).

Con esta técnica se ha podido identificar, por ejemplo, lenguado (Herrero *et al.*, 2012), mero (Chen *et al.*, 2012), merluza (Sánchez, 2012), pulpo (Españeira y Vieites, 2012) o caballa (Velasco *et al.*, 2013).

4. NUEVA TECNOLOGÍA PARA LA DETECCIÓN DEL FRAUDE EN PESCADO: MÉTODO BLOCKCHAIN

El método *blockchain*, promete rehacer Internet y, potencialmente, la industria pesquera. Se basa en la tecnología subyacente del *bitcoin*¹⁸, la moneda criptográfica más conocida, que ha alcanzando su punto máximo a finales de 2017 (Orlowki, 2018).

Blockchain es una nueva forma de almacenar datos que no depende de las bases de datos centralizadas o de servidores de una sola empresa u organización, sino que se trata de una red de ordenadores que almacena toda la información de manera que no se puede modificar, lo que garantiza la máxima transparencia e integridad de los datos, y cualquiera puede consultarla en cualquier momento (Elliot, 2018).

Se espera que el uso de esta tecnología permita una trazabilidad completa del lote. El objetivo final es crear un sistema donde los consumidores, a través de un *smartphone*, puedan escanear la etiqueta y ver dónde y cómo se capturó el pescado (Orlowki, 2018).

Varias organizaciones ya han lanzado proyectos de prueba para asegurar la trazabilidad de pescados utilizando el *blockchain*. El *World Wildlife Fund* (WWF) ha iniciado un proyecto financiado por la *Gordon and Betty Moore Foundation* para rastrear atún fresco y congelado en el Pacífico occidental y central (Visser y Hanich, 2018). De hecho, des de julio de 2018 ya se ha podido probar esta tecnología en atunes de la marca *Pacific* (Kearns, 2018).

En junio de 2018, la cooperativa finlandesa S-Group anunció que implementaba el servicio “*pike-perch radar*”, para permitir ofrecer al consumidor la información sobre la trazabilidad de los filetes de pescado fresco vendidos en sus tiendas mediante un código QR en el envoltorio del pescado de su marca (Imagen 4) (IBM España, 2018). La captura de esta información es posible gracias a la tecnología *IBM Food Trust*, una solución colaborativa construida sobre la plataforma *IBM Blockchain* y la Fábrica *Hyperledger* de la Fundación *Linux*.

También se han desarrollado pruebas en otros sectores de la industria alimentaria. Por ejemplo, la Agencia de Normas Alimentarias del Reino Unido ha completado con éxito

¹⁸ <https://unimooc.com/bitcoin-definicion-caracteristicas/>

un programa piloto utilizando la tecnología *blockchain* en un matadero de vacuno¹⁹. Y la cadena de supermercado *Carrefour* ha anunciado que empezará un proyecto donde algunos de sus productos (salmón, pollo, carne picada, leche, etc.) contarán con esta tecnología para proporcionar más transparencia al consumidor sobre la trazabilidad de sus productos²⁰.



Imagen 1. Código QR del servicio Pike-perch radar que permite la información acerca de la trazabilidad del filete de pescado fresco (Fuente: IBM España, 2018).

Aunque la tecnología *blockchain* es prometedora, la idea de por sí es complicada de ejecutar, pues hay que convencer a cada uno de los puntos que conforman la cadena de suministros que implementen este nuevo sistema de rastreabilidad (Rodríguez, 2018). Además, no resolverá el problema del pescado ilegal y/o mal etiquetado por sí solo, se necesitan esquemas de certificación exigentes para asegurar la pesca leal (Orlowki, 2018) y sensibilizar a los consumidores acerca de la importancia de la trazabilidad.

Sin embargo, si las grandes cadenas de distribución muestran interés en el *blockchain*, podría ser que toda la cadena por debajo y los pequeños industriales empezaran a utilizar esta tecnología, lo que permitiría todo lo comentado anteriormente.

¹⁹ <http://www.eurocarne.com/noticias/codigo/40497/kw/La+FSA+de+Reino+Unido+implanta+la+tecnolog%C3%A9+blockchain+en+un+matadero+de+vacuno>

²⁰ <http://www.europapress.es/economia/noticia-carrefour-aplica-tecnologia-blockchain-sector-alimentario-conocer-trazabilidad-20180306132917.html>

5. CONCLUSIONES

1. El gran número de estudios realizados sobre fraude en pescado demuestra que es un grave problema mundial que afecta a toda la cadena, y que hay preocupación en detectarlo y erradicarlo, ya que no sólo afecta económicamente al consumidor o a la industria, también puede suponer un riesgo para la salud pública y para el medioambiente.
2. Aunque el fraude más conocido en pescado se dé por adulteración, se debe tener en cuenta, tanto a nivel consumidor como en la industria, que también se puede dar por procedencia, aunque sea la misma especie, o por comercio ético, cuando el comprador no sabe que está contribuyendo a temas morales no aceptados socialmente o medioambientalmente insostenibles.
3. Parece ser que una mayor restricción en la legislación acerca de la trazabilidad y el etiquetaje correcto en pescado ayuda a disminuir el etiquetado erróneo y con ello podría contribuir a reducir el fraude en pescado.
4. Si EEUU toma ejemplo de la UE en cuanto a medidas legislativas sobre la trazabilidad del pescado, podría suponer una gran fuerza coercitiva para los demás países en cuanto a medidas antifraude.
5. Al parecer, las técnicas basadas en el ADN están mejor adaptadas para la identificación de especies de pescados que las basadas en sólo proteínas, ya que son técnicas simples, rápidas y eficientes. Según todo indica, el *DNA-barcoding* y la RT-PCR son las más indicadas para ésta función, ya que la primera da la ventaja de identificar especies ya cocinadas y la segunda da los resultados a tiempo real, y aunque la PCR-RFLP también es una buena técnica, los resultados son difíciles de interpretar.
6. La gran diversidad en pescados y otros productos del mar y aguas dulces, así como sus derivados, hace difícil evitar el fraude mundial al completo, en especial en los países menos desarrollados.
7. La tecnología *blockchain* puede facilitar la transparencia de la trazabilidad en los pescados de una forma fiable, reduciendo el fraude. Se deberá esperar un tiempo para ver como evoluciona este proyecto en la cadena agroalimentaria.

6. BIBLIOGRAFÍA

CITAS A PIE DE PÁGINA

1. García, G. y Serrano, A. 2017. 30 años del juicio de la colza: el retrato de un envenenamiento masivo. El País. Disponible en: https://elpais.com/politica/2017/03/29/actualidad/1490776807_745908.html.
2. Comisión Europea. 2014. MEMO. Disponible en: http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-14-113_en.htm.
3. DOUE. 2014. Resolución de C 482/22 del Diario Oficial de la Unión Europea, de 14 de enero de 2014, sobre la crisis alimentaria, los fraudes en la cadena alimentaria y el control al respecto (2013/2091(INI)). Núm. 482, pp. 22-30. Disponible en: http://agricultura.gencat.cat/web/.content/04-alimentacio/lluïta-frau-alimentari/enllacos-documents/fitxers-binariis/INFORMACION_2016_C-482_04.pdf.
4. Nota propia de la autora del presente TFM.
5. Oceana. Sin fecha. Illegal fishing and seafood fraud seafood fraud: stopping the bait and switch. [Fecha de consulta: 21 mayo 2018]. Disponible en: https://usa.oceana.org/our-campaigns/seafood_fraud/campaign
6. Comisión Europea. 2017. RASFF: Food and Feed Safety Alerts. Disponible en: https://ec.europa.eu/food/safety/rasff_en.
7. AZTI. 2018. Etiquetado erróneo en pescado en el sector Horeca en España. Disponible en: <http://www.azti.es/wp-content/uploads/2018/02/Etiquetado-err%C3%B3neo-de-pescado-en-el-sector-HORECA-en-Espa%C3%B1a.pdf>.
8. BOE. 2018. Resolución de 1 de marzo de 2018, de la Secretaría General de Pesca, por la que se publica el listado de denominaciones comerciales de especies pesqueras y de acuicultura admitidas en España. Núm. 53, pp. 25487 a 25513. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2018/03/01/pdfs/BOE-A-2018-2884.pdf>.
9. Comisión Europea. 2011. Guía de bolsillo sobre las nuevas etiquetas de la UE para los productos de la pesca y de la acuicultura. Disponible en: https://ec.europa.eu/fisheries/sites/fisheries/files/docs/body/eu-new-fish-and-aquaculture-consumer-labels-pocket-guide_es.pdf.
10. FDA. 2016. Código de Regulaciones Federales, Título 21. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/354690838/FDA-Codigo-de-Regulaciones-Federales-Titulo-21-Etiquetado>
11. FDA. 2018. The Seafood List. Disponible en: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/fdcc/?set=seafoodlist>.
12. Comisión Europea. 2017. Food Fraud. Disponible en: https://ec.europa.eu/food/safety/food-fraud_en
13. Comisión Europea. 2016. Official controls and enforcement. Disponible en: https://ec.europa.eu/food/safety/official_controls_en.
14. Comisión Europea. 2015. Fish Substitution. Disponible en: https://ec.europa.eu/food/safety/official_controls/food_fraud/fish_substitution_en.
15. FDA. 2014. Memorandum of Understanding Between The Food Safety and Inspection Service United States Department of Agriculture And The Food and Drug Administration United States Department of Health and Human Services. Disponible en: <https://www.fda.gov/aboutfda/partnershipcollaborations/memorandaofunderstandingmou/domesticmou/ucm396294.htm>.
16. FDA. 2013. Guidance Regulation. Disponible en: <https://www.fda.gov/downloads/Food/GuidanceRegulation/FSMA/UCM535679.pdf>
17. FAO. Sin fecha Otolitos. [Fecha de consulta: 5 junio 2018]. Disponible en: [view-source:http://www.fao.org/docrep/field/003/AC567S/AC567S03.htm](http://www.fao.org/docrep/field/003/AC567S/AC567S03.htm).
18. Moreno, L. 2015. Bitcoin: definición y características. Disponible en: <https://unimooc.com/bitcoin-definicion-caracteristicas/>.
19. Eurocarne. 2018. La FSA de Reino Unido implanta la tecnología blockchain en un matadero de vacuno. Eurocarne digital. Disponible en: <http://www.eurocarne.com/noticias/codigo/40497/kw/La+FSA+de+Reino+Unido+implanta+la+tecnolog%C3%A4+blockchain+en+un+matadero+de+vacuno>.
20. Europa Express. 2018, Marzo. Carrefour aplica la tecnología blockchain en el sector alimentario para conocer su trazabilidad. Mercado financiero/economía finanzas. Disponible en: <http://www.europapress.es/economia/noticia-carrefour-aplica-tecnologia-blockchain-sector-alimentario-conocer-trazabilidad-20180306132917.html>.

ANEXO I

21. Oceana. 2016. The Global Reach of Seafood Fraud. Disponible en: https://usa.oceana.org/seafood-fraud/2016-global-reach-seafood-fraud?_ga=2.124755210.1454420091.1530514821-1129823019.1518252376.
22. Arencibia, G. 2016. Algas nocivas. Tóxicos y toxinas en alimentos. Portal el Bohío. Disponible en: <http://portalelbohio.es/?p=9874>.
23. Crespillo, C. 2017. Pez globo: Tetratodtoxina. Viajar seguro. Disponible en: <http://fundacionio.org/viajar/enfermedades/tetratodtoxina%20pez%20globo.html>.
24. Europol. 2018. Fraud on a plate: over 360 tonnes of dangerous food removed from consumer market. Disponible en: <https://www.europol.europa.eu/newsroom/news/fraud-plate-over-3-600-tonnes-of-dangerous-food-removed-consumer-market>.
25. Comisión Europea. 2018. Casos coordinados de la EU. Disponible en: https://ec.europa.eu/food/safety/food-fraud/successful-stories_en.

26. Departamento de Justicia. 2011. Environmental Crimes Section: Monthly Bulletin February 2011. Disponible en: https://www.justice.gov/sites/default/files/enrd/legacy/2015/04/13/LPS-190653-v1-ECS_Bulletin_2011_02_Block_508.pdf.
27. SeafoodSource. 2014. UK retailers accused of selling Norway salmon as Scottish. Disponible: <https://www.seafoodsource.com/news/foodservice-retail/uk-retailers-accused-of-selling-norway-salmon-as-scottish>.
28. En el punto de mira. 2018. Muchas pescaderías venden percebe marroquí al precio del nacional. Disponible en: https://www.cuatro.com/enelpuntodemira/Precios-procedencia-principales-factores-pescado_0_2524200804.html
29. Atuna. Sin fecha. FAD and FAD-Free Fishing. [Fecha de consulta: 25 junio 2018]. Disponible en: <http://www.atuna.com/index.php/en/fishing/fad-fad-free-fishing>.

A.O.A.C. 1990. Official Method 980.16. Identification of Fish Species: Thin-Layer Polyacrylamide Gel Isoelectric Focusing Method. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, pp. 883–889.

Anderson, L. 2016, marzo. From ocean to plate: *How DNA testing helps to ensure traceable, sustainable seafood*. Disponible en: https://www.msc.org/docs/default-source/po-files/raporty-testy-dna/msc_z_morza_na_talerz_raport_dna_2015_eng.pdf?sfvrsn=c61e8810_6.

Armani, A., Castigliero, L., Tinacci, L., Gandini, G., Gianfaldoni, D. y Guidi, A. 2012a. A rapid PCR–RFLP method for the identification of *Lophius* species. *European Food Research and Technology*, v. 235 (2), pp. 253-263. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-012-1754-3>.

Armani, A., D'Amico, P., Castigliero, L., Sheng, G., Gianfaldoni, D., y Guidi, A. 2012b. Mislabeling of an “unlabelable” seafood sold on the European market: the jellyfish. *Food Control*, v. 26 (2), pp. 247-251. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713512000680>

Armani, A., Guardone, L., La Castellana, R., Gianfaldoni, D., Guidi, A. y Castigliero, L. 2015. DNA barcoding reveals commercial and health issues in ethnic seafood sold on the Italian market. *Food Control*, v. 55, pp. 206-214. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095671351500122X?via%3Dihub>.

Armstrong, S.G., Leach, D.N. y Wyllie, S.G. 1992. The use of HPLC protein profiles in fish species identification. *Food Chemistry*, v. 44 (2), pp. 147–155. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030881469290328Y>.

Arnett, L. 2016, junio. What's in your sushi? Possibly not what you think. Crain's Chicago Business. Disponible en: <http://www.chicagobusiness.com/article/20160602/BLOGS09/160529869/dominican-university-students-find-fish-mislabeled-prevalent>.

Asensio, L., Gonzalez, I., Pavon, M. A., Garcia, T., y Martin, R. 2008a. An indirect ELISA and a PCR technique for the detection of grouper (*Epinephelus marginatus*) mislabeling. *Food Additives and Contaminants*, v. 25 (6), pp. 677-683. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18484296>.

Asensio, L., Samaniego, L., Pavon, M. A., Gonzalez, I., Garcia, A., y Martin, R. 2008b. Detection of grouper mislabelling in the fish market by an immunostick colorimetric ELISA assay. *Food and Agricultural Immunology*, v. 19 (2), pp. 141-147. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09540100802100202>.

Ashoor, S.H., Monte, W.C. y Stiles, P.G. 1988. Liquid-chromatographic identification of meats. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, v. 71 (2), pp. 397–403. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3384790>.

Aursand, M., Mabon, F. y Martin, G.J. 2000. Characterization of farmed and wild salmon (*Salmo salar*) by a combined use of compositional and isotopic analyses. *Journal of the American Oil Chemists Society*, v. 77, pp. 659–666. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11746-000-0106-5>.

Aursand, M., Mabon, F., Axelson, D. y Martin, G.J. 1999. Origin testing of fish and fish oil products by using ²H and ¹³C NMR spectroscopy. 29th WEFTA Conferencia, Tesalónica, Grecia.

Aursand, M., Standal, I. B., Prael, A., McEvoy, L., Irvine, J., y Axelson, D. E. 2009. C NMR pattern recognition techniques for the classification of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) according to their wild, farmed, and geographical origin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.57 (9), pp. 3444-3451. Disponible en: <https://cdn-pubs.acs.org/doi/10.1021/jf8039268>.

Barbuto, M., Galimberti, A., Ferri, E., Labra, M., Malandra, R., Galli, P., y Casiraghi, M. 2010. DNA barcoding reveals fraudulent substitutions in shark seafood products: The Italian case of “palombo” (*Mustelus* spp). *Food Research International*, v. 43 (1), pp. 376-381. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996909003263>.

Berrini, A., Tepedino, V., Borromeo, V., y Secchi, C. 2006. Identification of freshwater fish commercially labelled “perch” by isoelectric focusing and two-dimensional electrophoresis. *Food Chemistry*, v. 96 (1), pp. 163-168. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814605002967>.

- Carvalho, D. C., Palhares, R. M., Drummond, M. G., y Frigo, T. B. 2015. DNA Barcoding identification of commercialized seafood in South Brazil: a governmental regulatory forensic program. *Food Control*, v. 50, pp. 784-788. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713514006070>.
- Céspedes, A., García, T., Carrera, E., González, I., Sanz, B. y Martín, R. 1998. Polymerase chain reaction restriction fragment length polymorphism analysis of a short fragment of the cytochrome b gene for identification of flatfish species. *Journal of Food Protection*, v. 61 (12), pp. 1684-1685. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9874350>.
- Chabela, M. D. L. P., Santos, J. S., Alquicira, E. P., y Tenorio, L. M. D. 2015. Electroforesis en gel de poliacrilamida-SDS como herramienta en el estudio de las proteínas miofibrilares. Publicación electrónica arbitrada en Ciencia y Tecnología de la Carne. *Nacameh*, v. 9, pp. 77-96. Disponible en: http://cbs.izt.uam.mx/nacameh/v9n2/Nacameh_v9n2_077_PerezChetal.pdf.
- Chen, S., Zhang, J., Chen, W., Zhang, Y., Wang, J., Dunning, X. y Zhou, Y. 2012. Quick method for grouper species identification using real-time PCR. *Food Control*, v. 27 (1), pp. 108-112. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713512001302>.
- Chen, S., Zhang, Y., Li, H., Wang, J., Chen, W., Zhou, Y., y Zhou, S. 2014. Differentiation of fish species in Taiwan Strait by PCR-RFLP and lab-on-a-chip system. *Food Control*, v. 44, pp. 26-34. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713514001443>.
- Christiansen, H., Fournier, N., Hellemans, B., y Volckaert, F. A. 2018. Seafood substitution and mislabeling in Brussels' restaurants and canteens. *Food Control*, v. 85, pp. 66-75. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713517304383>.
- Cox, C. E., Jones, C. D., Wares, J. P., Castillo, K. D., McField, M. D., y Bruno, J. F. 2013. Genetic testing reveals some mislabeling but general compliance with a ban on herbivorous fish harvesting in Belize. *Conservation Letters*, v. 6, p. 132-140. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1755-263X.2012.00286.x>.
- Di Pinto, A., Marchetti, P., Mottola, A., Bozzo, G., Bonerba, E., Ceci, E., Bottaro, M. y Tantillo, G. 2015. Species identification in fish fillet products using DNA barcoding. *Fisheries Research*, v. 170, pp. 9-13. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165783615001472>.
- Durand, J.D., Diatta, M.A., Diop, K. y Trape, S. 2010. Multiplex 16S rRNA haplotypespecific PCR, a rapid and convenient method for fish species identification: an application to West African clupeiform larvae. *Molecular Ecology Resources*, v. 10 (3), pp. 568-572. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21565060>.
- EFE. 2015a, febrero. Cepesca denuncia un fraude en el etiquetado de las conservas de atún. *Faro de Vigo*. Disponible en: <https://www.farodevigo.es/mar/2015/02/17/cepesca-denuncia-fraude-etiquetado-conservas/1185655.html>.
- EFE. 2015b, febrero. <<Esclavitud moderna>> en la pesca de Tailandia: La fundación para la Justicia Ambiental (EJF) denuncia que el 39% de los productos tailandeses que llegan a EEUU proceden de barcos piratas. *La Voz de Galicia*. Disponible en: <https://www.lavozdeg Galicia.es/noticia/maritima/2015/02/25/esclavitud-moderna-pesca-tailandia/00031424888062035117193.htm>.
- Elliot, C. 2018, enero. The sins of seafood: Food fraud on a global scale [Archivo de vídeo]. Recuperado de: <https://webinars.newfoodmagazine.com/the-seven-sins-of-seafood>.
- Espiñeira, M., y Vieites, J. M. 2012. Rapid method for controlling the correct labeling of products containing common octopus (*Octopus vulgaris*) and main substitute species (*Eledone cirrhosa* and *Dosidicus gigas*) by fast real-time PCR. *Food Chemistry*, v. 135, pp. 2439-2444. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22980826>.
- FAO. 2016. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. *Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos*. Roma. 224 pp. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i5555s.pdf>.
- Fernández, A., Ortega, C., Sibera, M. y Cugat, G. 2017. Guia per a la prevenció del frau a la industria agroalimentaria. Premiulab. Disponible en: <http://agricultura.gencat.cat/web/.content/04-alimentacio/lluïta-frau-alimentari/enllacos-documents/fitxers-binariis/guia-prevencio-frau-industria-agroalimentaria.pdf>.
- Ferrito, V., Bertolino, V. y Pappalardo, A. M. 2016. White fish authentication by COI Bar-RFLP: Toward a common strategy for the rapid identification of species in convenience seafood. *Food Control*, v. 70, pp. 130-137. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713516302602>.
- Florida Sea Grant. 2011, abril. Fish and Fishery Products Hazards and Controls Guidance. 4ª Edición. IFAS-Extension Booksotre, Universidad de Florida, P.O. Box 110011. Gainesville, Florida. Disponible en: <https://www.fda.gov/downloads/food/guidanceregulation/ucm251970.pdf>.
- Foran, J.A., Hites, R.A., Carpenter, D.O., Hamilton, M.C., Mathews-Amos, A. y Schwager, S.L. 2004. A survey of metals in tissues of farmed Atlantic and wild Pacific salmon. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 23, pp. 2108-2110. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15378985>.

- Fuentes, A., Masot, R., Fernández-Segovia, I., Ruiz-Rico, M., Alcañiz, M., y Barat, J. M. 2013. Differentiation between fresh and frozen-thawed sea bream (*Sparus aurata*) using impedance spectroscopy techniques. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, v. 19, pp. 210-217. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856413000805>.
- Galal abd el Gawad, A. 2016. *Trazabilidad en pesquerías y sostenibilidad de sus derivados alimentarios en Egipto mediante metodologías de ADN* (Tesis doctoral). Universidad de Oviedo. Disponible en: <http://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/38808>.
- Galal-Khallaf, A., Ardura, A., Borrell, Y. J., y Garcia-Vazquez, E. 2016. PCR-based assessment of shellfish traceability and sustainability in international Mediterranean seafood markets. *Food Chemistry*, v. 202, pp. 302-308. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814616301297>.
- Geddes, L. A. y Baker, L. E. 1989. *Principles of Applied Biomedical Instrumentation*. 3ª Ed., John Wiley and Sons v. 961, pp. 664-95.
- GPO (Government Publishing Office). 2014. 7 CFR 60 - Country of Origin Labeling for Fish and Shellfish. U.S. Government Publishing Office. Disponible en: <https://www.gpo.gov/fdsys/granule/CFR-2014-title7-vol3/CFR-2014-title7-vol3-part60>.
- Han, J., Lv, F. y Cai, H. 2011. Detection of species-specific long VNTRs in mitochondrial control region and their application to identifying sympatric Hong Kong grouper (*Epinephelus akaara*) and yellow grouper (*Epinephelus awoara*). *Molecular Ecology Resources*, v. 11(1), pp. 215-218. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21429126>.
- Herrero, B., Lago, F.C., Vieites, J.M. and Espiñeira, M. 2012. Real-time PCR method applied to seafood products for authentication of European sole (*Solea solea*) and differentiation of common substitute species. *Food Additives and Contaminants Part A Chemistry Analysis Control Exposure and Risk Assessment*, v. 29 (1), pp. 12-18. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22049986>.
- IBM España. 2018. Aplicación del blockchain en el pescado de una cooperativa finlandesa. *Revista Alimentaria*. Disponible en: <http://www.revistaalimentaria.es/vernoticia.php?noticia=aplicacion-del-blockchain-en-el-pescado-de-una-cooperativa-finlandesa>
- Inside Edition. 2015, noviembre. Instead of White Tuna, Some Sushi Restaurants Secretly Serve Cheap Fish That May Cause Sickness [Archivo de video]. Recuperado de: <https://www.insideedition.com/investigative/13072-instead-of-white-tuna-some-sushi-restaurants-secretly-serve-cheap-fish-that-may-cause-sickness>.
- Joensen, H., Steingrund, P., Fjallstein, I. y Grahl-Nielsen, O. 2000. Discrimination between two reared stocks of cod (*Gadus morhua*) from the Faroe Islands by chemometry of the fatty acid composition in the heart tissue. *Marine Biology*, v. 136 (3), pp. 573-580. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s002270050717>.
- Kappel, K., y Schröder, U. 2016. Substitution of high-priced fish with low-priced species: adulteration of common sole in German restaurants. *Food Control*, v. 59, pp. 478-486. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713515300487>.
- Kearns, M. 2018. Pacific tuna products to be blockchain traceable by July 2018. *SeafoodSource*. Disponible en: <https://www.seafoodsource.com/news/environment-sustainability/pacific-tuna-products-to-be-fully-blockchain-traceable-by-july-2018>.
- Knuutinen, J. y Harjula, P. 1998. Identification of fish species by reversed-phase high performance liquid chromatography with photodiode-array detection. *Journal of Chromatography B Biomed Sci Appl.*, v. 705 (1), pp. 11-21. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9498665>.
- Lago, F. C., Alonso, M., Vieites, J. M., y Espiñeira, M. 2014. Fish and seafood authenticity-species identification. *Seafood processing: technology, quality and safety*. Wiley Blackwell, Chichester, pp. 419-452.
- Lamendin, R., Miller, K., y Ward, R. D. 2015. Labelling accuracy in Tasmanian seafood: An investigation using DNA barcoding. *Food Control*, v. 47, pp. 436-443. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713514004241>.
- López, J.L. 2007. Two-dimensional electrophoresis in proteome expression analysis. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci.*, v. 849 (1-2), pp. 190-202. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17188947>.
- Lowell, B., Mustain, P., Ortenzi, K., y Warner, K. 2015. One name, one fish: why seafood names matter. *Oceana*. Disponible en: <https://usa.oceana.org/sites/default/files/onenameonefishreport.pdf>.
- Ludwing, A., Lieckfeldt, D. y Jahrl, J. 2015. Mislabeled and counterfeit sturgeon caviar from Bulgaria and Romania. *Journal of Applied Ichthyology*, v. 31 (4), pp. 587-591. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jai.12856>.

- Macdonald, J. R. y Barsoukov, E. 2005. Impedance Spectroscopy. Theory, Experiment and Applications. 2ª Edición, *J. Am. Chem. Soc.*, v. 127, pp 12431–12431. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ja059742o>.
- Mackie, I., Craig, A., Etienne, M., Jérôme, M., Fleurence, J., Jessen, F., Smelt, A., Krujit, A., Malmheden Yman, I., Ferm, M., Martínez, I., Pérez-Martín, R., Piñeiro, C., Rehbein, H., Kündiger, R. 2000. Species identification of smoked and gravad fish products by sodium dodecylsulphate polyacrylamide gel electrophoresis, urea isoelectric focusing and native isoelectric focusing: A collaborative study. *Food Chemistry*, v. 71 (1), pp. 1-7. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814600001473>.
- Méndez, E. 2011. *Aplicación de la espectroscopía de impedancia en la evaluación de la calidad de dorada* (Tesis doctoral). Universitat Politècnica de València. València, España. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/11311>.
- Narrillos, E., y Elefterie, K-A. 2018, enero. Nueva normativa pesquera: el PE pide prohibir la pesca eléctrica. Noticias Parlamento Europeo. Disponible en: <http://www.europarl.europa.eu/news/es/press-room/20180112IPR91630/nueva-normativa-pesquera-el-pe-pide-prohibir-la-pesca-electrica>.
- Orlowki, A. 2018, marzo. Blockchain could revolutionize seafood traceability. SeafoodSource. Disponible en: <https://www.seafoodsource.com/features/blockchain-could-revolutionize-seafood-traceability>.
- Ortea, I., Cañas, B., Calo-Mata, P., Barros-Velázquez, J., y Gallardo, J. M. 2010. Identification of commercial prawn and shrimp species of food interest by native isoelectric focusing. *Food Chemistry*, v. 121 (2), pp. 569-574. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814609014691>.
- Osman, M.A., Ashoor, S.H. y Marsh, P.C. 1987. Liquid-chromatographic identification of common fish species. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, v. 70, pp. 618–625.
- Palmeira, C. A. M., da Silva Rodrigues-Filho, L. F., de Luna Sales, J. B., Vallinoto, M., Schneider, H., y Sampaio, I. 2013. Commercialization of a critically endangered species (argetooth sawfish, *Pristis perotteti*) in fish markets of northern Brazil: authenticity by DNA analysis. *Food Control*, v. 34 (1), pp. 249-252. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713513002016>.
- Pardo, M. Á., Jiménez, E. y Pérez-Villarreal, B. 2016. Misdescription incidents in seafood sector. *Food Control*, v. 62, pp. 277–283. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095671351530270X>.
- Pérez-Esteve, E., Fuentes, A., Grau, R., Fernández-Segovia, I., Masot, R., Alcañiz, M., y Barat, J. M. 2014. Use of impedance spectroscopy for predicting freshness of sea bream (*Sparus aurata*). *Food Control*, v. 35 (1), pp. 360-365. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713513003721>.
- Piñeiro, C., Barros-Velázquez, J., Pérez-Martín, R. I., y Gallardo, J. M. 2000. Specific enzyme detection following isoelectric focusing as a complimentary tool for the differentiation of related Gadoid fish species. *Food Chemistry*, v. 70 (2), pp. 241-245. Disponible en: <http://digital.csic.es/handle/10261/57041>.
- Pollack, S. J., Kawalek, M. D., Williams-Hill, D. M., y Hellberg, R. S. 2018. Evaluation of DNA barcoding methodologies for the identification of fish species in cooked products. *Food Control*, v. 84, pp. 297-304. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713517304097>.
- Ram, J.L., Ram, M.L. y Baidoun, F.F. 1996. Authentication of canned tuna and bonito by sequence and restriction site analysis of polymerase chain reaction products of mitochondrial DNA. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 44 (8), pp. 2460–2467. American Chemical Society. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf950822t>.
- Rasmussen, R.S., Morrissey, M.T. y Walsh, J. 2010. Application of a PCR-RFLP method to identify salmon species in US commercial products. *Journal of Aquatic Food Product Technology* v.19 (1), pp. 3–15.
- Rehbein, H. 2008. New fish on the German market: consumer protection against fraud by identification of species. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, v. 3 (1), pp. 49-53. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00003-007-0301-9>.
- Rodríguez, E. 2018, marzo. Blockchain evitará que te engañen con el pescado y el marisco. *El Español, Omicrono*. Disponible en: <https://omicono.elespanol.com/2018/03/eachmile-fishcoin-blockchain-alimentacion-pescados-mariscos/>.
- Sánchez, A. 2012. *Identificación y cuantificación de especies del género Merluccius mediante la utilización de PCR a tiempo Real* (Tesis doctoral). Universidad de Vigo Departamento de Bioquímica, Genética e Inmunología. Vigo, Pontevedra, España. Disponible en: http://digital.csic.es/bitstream/10261/54512/1/Tesis_Ana_Cristina_S%C3%A1nchez_D%C3%ADaz.pdf.
- Santaclara, F.J., Espiñeira, M., Cabado, G., Aldasoro, A., Gonzalez-Lavín, N. y Vieites, J. M. 2006. Development of a method for the genetic identification of mussel species belonging to *Mytilus*, *Perna*, *Aulacomya*, and other genera. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 54 (22), pp. 8461–8470. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17061822>.

Secor, D.H., Campana, S.E., Zdanowicz, V.S., Lam, J.W.H., Yang, L. y Rooker, J.R. 2002. Inter-laboratory comparison of Atlantic and Mediterranean bluefin tuna otolith microconstituents. *ICES Journal of Marine Science*, v. 59, pp. 1294–1304. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.505.3391&rep=rep1&type=pdf>.

Shehata, H. R., Naaum, A. M., Garduño, R. A., y Hanner, R. 2018. DNA barcoding as a regulatory tool for seafood authentication in Canada. *Food Control*, v. 92, pp. 147-153. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713518302081>.

Smith, G. 2018, enero). Almost 60 per cent of popular Chinese cod fillet mislabeled. *Lack of clarity in the definition of Xue Yu and difficulty in identifying the fish once it has been prepared may have contributed to widespread mislabelling*. *New Food*. Disponible en: <https://www.newfoodmagazine.com/news/63754/xue-yu-mislabelling/>.

Smith, P. J., y Benson, P. G. 2001. Biochemical identification of shark fins and fillets from the coastal fisheries in New Zealand. *Fishery Bulletin-National Oceanic and Atmospheric Administration*, v. 99 (2), pp. 351-355. Disponible en: <https://www.st.nmfs.noaa.gov/spo/FishBull/992/smi.pdf>.

Sotelo, C.G., Piñeiro, C., Gallardo, J.M. y Pérez-Martín, R.I. 1992. Identification of fish species in smoked fish products by electrophoresis and isoelectric focusing. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, v. 195 (3), pp. 224-227. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF01202799>.

Sotelo, I., Filomena, A., y Rodríguez, J. 2008. Evaluación de las propiedades del cajaro (*Phractocephalus hemiliopterus*) como potencial para la obtención de surimi y productos derivados. *Revista MVZ Córdoba*, v. 13 (3), pp. 1456-1463. Disponible en: <http://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/revistamvz/article/view/376/444>.

Sumathi, G., Jeyasekaran, G., Shakila, R. J., Sivaraman, B., Arunkumar, G., Manimaran, U. y Sukumar, D. 2015. Molecular identification of grouper species using PCR-RFLP technique. *Food control*, v. 51, pp. 300-306. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713514006604>.

Unión Europea. Reglamento (CE) n° 1005/2008 del Consejo, de 29 de septiembre de 2008, por el que se establece un sistema comunitario para prevenir, desalentar y eliminar la pesca ilegal, no declarada y no reglamentada. Diario Oficial de la Unión Europea L286, 29 de octubre de 2008, pp. 1-32. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:286:0001:0032:Es:PDF>.

Unión Europea. Reglamento (CE) n° 1224/2009 del Consejo, de 20 de noviembre de 2009, por el que se establece un régimen comunitario de control para garantizar el cumplimiento de las normas de la política pesquera común. Diario Oficial de las Comunidades Europeas L 343, 22 de diciembre de 2009, pp. 22-50. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2009/343/L00001-00050.pdf>.

Unión Europea. Reglamento (CE) n° 178/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 28 de enero de 2002, por el que se establecen los principios y los requisitos generales de la legislación alimentaria, se crea la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria y se fijan procedimientos relativos a la seguridad alimentaria. Diario Oficial de las Comunidades Europeas L 31, 1 de febrero de 2002, pp. 1-24. Disponible en: http://www.mapama.gob.es/es/ganaderia/legislacion/R_178_02_tcm30-105136.pdf.

Unión Europea. Reglamento (CE) n° 882/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, sobre los controles oficiales efectuados para garantizar la verificación del cumplimiento de la legislación en materia de piensos y alimentos y la normativa sobre salud animal y bienestar de los animales. Diario Oficial de la Unión Europea L165, 30 abril de 2004, pp. 1-141. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2004/165/L00001-00141.pdf>.

Unión Europea. Reglamento (UE) n° 1169/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2011, sobre la información alimentaria facilitada al consumidor. Diario Oficial de las Comunidades Europeas L 304, 22 de noviembre de 2011, pp. 18-63. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011R1169&from=ES>.

Unión Europea. Reglamento (UE) n° 1379/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo, 11 de diciembre de 2013, por el que se establece la organización común de mercados en el sector de los productos de la pesca y de la acuicultura. Diario Oficial de las Comunidades Europeas L 354, 28 de diciembre de 2013, pp. 1-21. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R1379&from=es>.

Unión Europea. Reglamento (UE) n° 2017/625 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de marzo de 2017, relativo a los controles y otras actividades oficiales realizados para garantizar la aplicación de la legislación sobre alimentos y piensos, y de las normas sobre salud y bienestar de los animales, sanidad vegetal y productos fitosanitarios. Diario Oficial de la Unión Europea L95, 7 de abril de 2017, pp. 1-142. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R0625&from=ES>.

Unión Europea. Reglamento de ejecución (UE) n° 931/2011 de la Comisión, de 19 de septiembre de 2011, relativo a los requisitos en materia de trazabilidad establecidos por el Reglamento (CE) n° 178/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo para los alimentos de origen animal. Diario Oficial de las Comunidades Europeas L242, 20 septiembre 2011, pp. 2-3. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:242:0002:0003:ES:PDF>.

- Velasco, A., Sánchez, A., Martínez, I., Santaclara, F. J., Pérez-Martín, R. I., y Sotelo, C. G. 2013. Development of a Real-Time PCR method for the identification of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*). *Food Chemistry*, v. 141 (3), pp. 2006-2010. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23870921>.
- Villadiego, L. 2016, abril. El marisco tailandés que tú comes lo pescan esclavos. *El confidencial*. Disponible en: https://www.elconfidencial.com/mundo/2016-04-14/marisco-tailandia-comes-lo-pescan-esclavos_1183342/.
- Villarreal, B.W., Rosenblum, P.M. y Fries L.T. 1994. Fatty-acid profiles in red drum muscle – comparison between wild and cultured fish. *Transactions of the American Fisheries Society*, v. 123, pp. 194–203. Disponible en: [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1577/1548-8659\(1994\)123%3C0194:FAPIRD%3E2.3.CO;2](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1577/1548-8659(1994)123%3C0194:FAPIRD%3E2.3.CO;2).
- Visser, C y Hanich, Q. 2018. How blockchain is strengthening tuna traceability to combat illegal fishing. The conversation. Disponible en: <https://theconversation.com/how-blockchain-is-strengthening-tuna-traceability-to-combat-illegal-fishing-89965>.
- Ward, R. D., Zemlak, T. S., Innes, B. H., Last, P. R., y Hebert, P. D. 2005. DNA barcoding Australia's fish species. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* v.360, pp. 1847-1857. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16214743>.
- Warner, K., Mustain, P., Lowell, B., Geren, S., y Talmage, S. 2016. Deceptive dishes: seafood swaps found worldwide. *Oceana*. Disponible en: https://usa.oceana.org/sites/default/files/global_fraud_report_final_low-res.pdf.
- Wasko, A.P. y Galetti, P.M. 2003. PCR primed with minisatellite core sequences yields species-specific patterns and assessment of population variability in fishes of the genus *Brycon*. *Journal of Applied Ichthyology*, v. 19 (2), pp. 109–113. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1439-0426.2003.00443.x>.
- Westermeier, R. 2001. *Electrophoresis in Practice: a Guide to Methods and Applications of DNA and Protein Separations*. 3ª edición. John Wiley and Sons, Ltd, Chichester, Reino Unido.
- Wilson, J., Sing, K-W., Jaturas, N. 2018. DNA Barcoding: Bioinformatics Workflows for Beginners. *Reference Module in Life Sciences*, v. 33 (2), pp. 144-150. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128096338204688>.
- Wolf, C., Burgener, M., Hübner, P., y Lüthy, J. 2000. PCR-RFLP analysis of mitochondrial DNA: differentiation of fish species. *LWT-Food Science and Technology*, v. 33 (2), pp. 144-150. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643800906303>.
- Wong, E. H. K., y Hanner, R. H. 2008. DNA barcoding detects market substitution in North American seafood. *Food Research International*, v. 41 (8), pp. 828-837. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996908001336>.
- Wu, L., Ogawa, Y. y Tagawa, A. 2008. Electrical impedance spectroscopy analysis of eggplant pulp and effects of drying and freezing-thawing treatments on its impedance characteristics. *Journal of Food Engineering*, v. 87 (2), pp. 274-280. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877407006085>.
- Zeng, L., Wen, J., Fan, S., Chen, Z., Xu, Y., Sun, Y., Chen, D., Zhao, J., Xu, L. y Li, Y. 2018. Identification of sea cucumber species in processed food products by PCR-RFLP method. *Food Control*, v. 90, pp. 166-171. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S09567135183009>.

ANEXO

En este anexo se recopilan algunos ejemplos de fraude en pescado y marisco de los últimos años. Se han ordenado según el tipo de fraude cometido, tal y como se clasifican en la Tabla 1 del Apartado 2.1 del texto TFM.

Con el fin de demostrar el alcance del problema, Oceana ideó un mapa interactivo (Figura 1)²¹ con más de 200 estudios sobre etiquetado incorrecto, sustitución de especies y de procedencia de las especies.

Adulteración

- *Substitución de especies*
 - a) Se muestrearon 25 restaurantes de sushi en Los Ángeles y en Nueva York, encontrando que el 68 % del pescado servido había sido remplazado por otro más barato (Inside Edition, 2015).
 - b) De las 27 muestras de caviar procedentes de Rumanía y Bulgaria, sólo diez muestras procedían del esturión (Ludwing *et al.*, 2015).

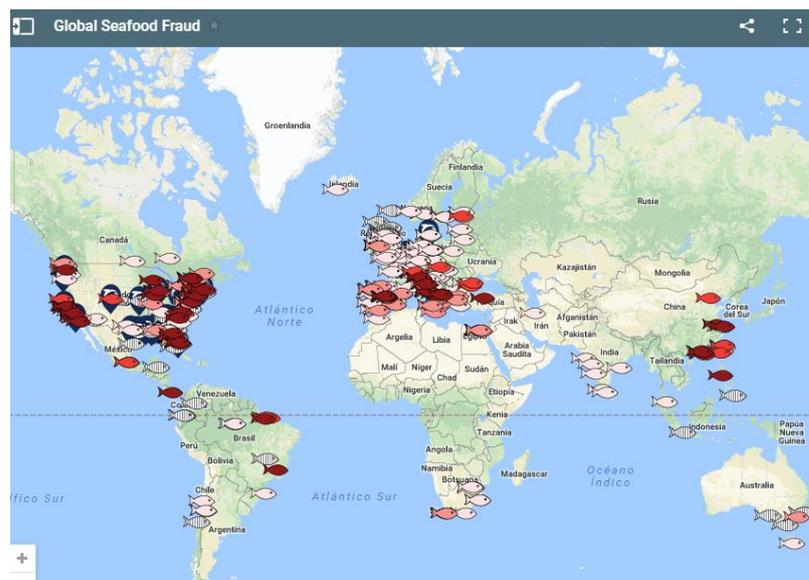


Figura 1. Mapa interactivo Oceana donde cada icono de peces representa un estudio sobre fraude en pescado según la zona geográfica. (Fuente:²¹).

²¹ https://usa.oceana.org/seafood-fraud/2016-global-reach-seafood-fraud?_ga=2.124755210.1454420091.1530514821-1129823019.1518252376

- c) En el 82 % de las 200 muestras analizadas en mercados y supermercados de Apulia (Italia), la especie encontrada no coincidía con el nombre comercial ni científico declarado (Di Pinto *et al.*, 2015).
- d) Entre marzo y junio de 2015 se recogieron muestras de platos de pescado, tanto crudo como cocinado, en restaurantes comerciales y bares de sushi de Bruselas. En general, se detectó que el 31,1 % de las muestras estaban mal etiquetadas. El bacalao y el lenguado fueron los más muestreados, con un etiquetado incorrecto de 31,1 % y 11,1 % respectivamente (Christiansen *et al.*, 2018). En el mismo estudio, el atún rojo fue substituido en un 95 % por otras especies de atún.
- e) Un estudio que utilizó el ADN-*barcoding* descubrió que el 58 % de lo que estaba etiquetado como “bacalao” en China estaba fraudulentamente mal etiquetado. El bacalao es uno de los productos pesqueros más populares en el mercado chino. De acuerdo con el resumen del estudio publicado en la revista *Food Control*, sólo el 42 % de las muestras fueron identificadas como pertenecientes a Gadiformes, mientras que las otras muestras fueron Scorpaeniformes, Tetraodontiformes y Lophiiformes.
- Parte del problema es la falta de armonización con respecto a la definición de *Xue Yu* (bacalao en chino), pero también existe una dificultad visual para identificar este pescado una vez ha sido preparado (Smith, 2018).
- f) En un restaurante belga, el bacalao del Atlántico, que suele costar entre 20 y 25 euros/kg, se substituyó por el bagre de río vietnamita de piscifactoría “pangasius” (*Pangasianodon hypothalamus*) que normalmente cuesta 4 euros/kg. Ambas especies comparten una carne blanca escamosa similar, que es probable que pase desapercibida para los consumidores. En la Imagen 1 de Anderson (2016) se muestra a la izquierda, el bacalao del Atlántico rebozado, y a la derecha el “pangasius”, también rebozado, el parecido una vez cocinado hace que sea imposible de distinguir visualmente.



Imagen 1. Puede ser casi imposible identificar con precisión las especies de peces presentes en un producto a simple vista, como sucede en estos dos filetes rebozados de bacalao del Atlántico (*Gadus morhua*) (izquierda) y “pangasius” (*Pangasianodon hypothalamus*) (derecha) (Fuente: Anderson, 2016).

- g) Oceana documentó 50 casos de escolar (*Lepidocybium flavobrunneum*) vendido como atún blanco en restaurantes de EEUU, mientras que un estudio en Sudáfrica encontró pescado de la familia del escolar, vendido como pez espada (Asensio *et al.*, 2008b). En Australia se vendía el escolar como pez limón (un tipo de tiburón) (Aursand *et al.*, 2009), en Hong Kong y en Canadá como bacalao o lubina y en España se vendía como pámpano japonés (Barbuto *et al.*, 2010).
- h) A menudo algunas especies se substituyen por otras potencialmente peligrosas para la salud pública. En la Tabla 1 se muestran las principales especies remplazadas por otras de peligrosas y los peligros asociados a éstas.

Tabla 1. Efecto del etiquetado incorrecto en especies substituidas por otras con peligro potencial para la salud pública. (Fuente: adaptación tabla 3-1 de Florida Sea Grant, 2011)

PRODUCTO ETIQUETADO COMO	ESPECIE POR LA QUE SE SUSTITUYE	PELIGROS POTENCIALES ASOCIADOS A LA ESPECIE
Lubina	Escolar	Gempilotoxina ²² y histamina
Rape	Pez globo	Tetrodotoxina ²³ e intoxicación paralítica
Jurel	Caballa española	Parásitos, histamina, e intoxicación por ciguatera ²²
Mero	Panga	Contaminantes químicos y pesticidas

²² <http://portalelbohio.es/?p=9874>

²³ <http://fundacionio.org/viajar/enfermedades/tetrodotoxina%20pez%20globo.html>

- *Adición de sustancias no declaradas al proceso inicial*
- a) El 25 de abril de 2018, Europol/Interpol publicó los resultados de la operación OPSON VII²⁴ en la que contribuyó la Red de Fraude Alimentario de la UE con el fin de detectar fraude en atún tanto en fresco como en conserva, aunque la publicación no especificaba la especie, sólo que se trataba de atún rojo. Al atún se le aplicaban sustancias que realizaban su color, engañando en su frescura (Imagen 2) y, por lo tanto, representando un riesgo para la salud pública. Participaron once países que realizaron extensos planes de muestreo tanto en barcos pesqueros como a nivel de distribución y venta al por menor. En total, se incautaron más de 51 toneladas de atún²⁵.



Imagen 2. Atún antes (izquierda) y después (derecha) de tratarlo con sustancias que alteran su color para parecer fresco. (Fuente: Europol, 2018).

- **Procedencia**
 - *Sustitución pesquera*
 - b) Una empresa mayorista y procesadora de productos pesqueros etiquetaba eglefino de procedencia china como eglefino de EEUU, y luego vendían a un cliente del sur de Florida. La compañía fue sentenciada a pagar 20.000 dólares de multa²⁶.
 - c) En un estudio en Egipto se encontró que el 17,2 % de los productos muestreados estaban mal etiquetados, a menudo indicando incorrectamente el área en la que se capturó el pescado (Galal-Khallaf *et al.*, 2016).

²⁴ <https://www.europol.europa.eu/newsroom/news/fraud-plate-over-3-600-tonnes-of-dangerous-food-removed-consumer-market>

²⁵ https://ec.europa.eu/food/safety/food-fraud/successful-stories_en

²⁶ https://www.justice.gov/sites/default/files/enrd/legacy/2015/04/13/LPS-190653-v1-ECS_Bulletin_2011_02_Block_508.pdf

- d) En el Reino Unido, se hizo un pequeño estudio con 5 muestras etiquetadas como salmón silvestre del Atlántico cuando en realidad era salmón de piscifactoría. También hubo algunas discrepancias entre la clasificación y el origen geográfico declarado en la etiqueta (Aursand *et al.*, 2009).
- e) En 2014 se confirmó que a un gran número de supermercados del Reino Unido se vendía salmón de Noruega como escocés²⁷.
- f) Un reportaje del equipo de investigación de “En el punto de mira” desveló que el percebe de procedencia marroquí se vendía en España como percebe español, y al mismo precio (hasta 80 €/kg), cuando realmente cuesta menos²⁸ (Imagen 3).



Imagen 3. Fragmento del reportaje “Precios y procedencia, principales factores de fraude en la venta de pescado y marisco, ‘En el punto de mira’”. A la derecha percebe de procedencia española, a la izquierda de procedencia marroquí por el que se remplazaba. (Fuente:²⁸)

- **Comercio ético**

- Pesca ilegal, no declarada y no regulada

- a) En un estudio hecho por Palmeira *et al.* (2013) el 55 % de las 44 muestras etiquetadas como tiburón se identificaron como pez sierra de dientes largos, una especie en peligro crítico por la UICN y de venta prohibida en Brasil. El etiquetado ambiguo de los productos del mar es una gran brecha que permite vender en el mercado pescado en peligro de extinción e/o ilegal.
- b) Un estudio realizado por Smith y Benson (2001) en Nueva Zelanda examinó 587 aletas de tiburón y muestras que se recolectaron en el muelle. Encontró que el 40

²⁷ <https://www.seafoodsource.com/news/foodservice-retail/uk-retailers-accused-of-selling-norway-salmon-as-scottish>

²⁸ https://www.cuatro.com/enelpuntodemira/Precios-procedencia-principales-factores-pescado_0_2524200804.html

% de las muestras etiquetadas como pez limón fueron mal etiquetadas. Además, una parte de las aletas de tiburón provenía de especies prohibidas como el tiburón martillo y el ballenero de bronce.

○ *Fraude en el método de captura*

- a) En 2015, la Confederación Española de Pesca denunció a través de un comunicado las prácticas fraudulentas en la venta de conservas de atún en el mercado europeo, porque se confundía al consumidor acerca de una técnica: la *Fish Aggregating Devices* (FAD)²⁹, donde se usan dispositivos para concentrar a los peces, normalmente atunes. Se comercializaban latas de FAD *free*, cuando en realidad el pescado se había capturado con ese método (EFE, 2015a).

○ *Esclavitud moderna*

- a) En 2015, del género que entraba en EEUU desde Tailandia, al menos el 39 % había sido capturado de manera ilegal a partir de mafias de tráfico humano (EFE, 2015b). Tanto la UE como los EEUU han amenazado con dejar de importar pescado de Tailandia si no se mejora esta situación (Villadiego, 2016).

²⁹ <http://www.atuna.com/index.php/en/fishing/fad-fad-free-fishing>