Universidad de Jaén

DIPUTACIÓN DE JAÉN

Instituto de Estudios Giennenses

El fraude alimentario en el sector del aceite de oliva en España: la perspectiva del sector productivo

Informe final de la investigación

Raquel Barreda Tarrazona
Eva M. Murgado Armenteros
Ana Barella Cárdenas

Universidad de Jaén
Departamento de Organización de Empresas, Marketing y Sociología

PROYECTO SUBVENCIONADO POR LA DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE JAÉN
Instituto de Estudios Giennenses

2026

Índice

1. Marco teórico 3
1.1. El fraude alimentario: delimitación conceptual y vulnerabilidades 3
1.1.1. Conceptualización y principales manifestaciones 3
1.1.2. Vulnerabilidad, prevención y control 4
1.2. El fraude alimentario en el sector del aceite de oliva 5
1.2.1. Relevancia sectorial y rasgos de vulnerabilidad 5
1.2.2. Principales manifestaciones del fraude en el aceite de oliva 6
1.2.3. Prevención, control y trazabilidad 6
1.3. Tecnologías antifraude aplicadas al aceite de oliva 7
1.3.1. Mecanismos tecnológicos de detección, autenticación y trazabilidad en el aceite de oliva 7
1.3.2. Parámetros, biomarcadores y huellas de autenticidad: qué se mide 8
1.3.3. Técnicas instrumentales y modelos multivariantes: cómo se mide 11
1.3.4. Autenticación de origen, DOP/IGP y trazabilidad territorial 15
1.3.5. Trazabilidad digital, blockchain y tecnologías orientadas al consumidor: cómo se controla y comunica la cadena 19
1.3.6. Límites de aplicación, validación y prevención del fraude 23
1.4. Implicaciones generales para el mercado y el consumidor 26
2. Metodología del estudio cualitativo 28
2.1. Diseño de la investigación 28
2.2. Selección de participantes 29
2.3. Diseño y realización de las entrevistas 30
2.4. Preparación y análisis mediante NVivo 15 30
2.4.1. Estructura de codificación 31
2.4.2. Procedimiento de codificación y contraste 32
2.4.3. Cautelas de interpretación 34
3. Resultados del análisis tecnológico 34
3.1. Contexto empírico: prácticas y modalidades de fraude mencionadas 34
3.2. Tecnologías de autenticidad y detección 36
3.3. Tecnologías de trazabilidad y digitalización 38
3.4. Tecnologías de análisis avanzado 40
3.5. Impacto y aplicación en el sector 41

3.6. Condiciones e impulsores de adopción 43
3.7. Barreras y necesidades de implantación 44
3.8. Síntesis tecnológica y diferencias de énfasis 46
4. Conclusiones e implicaciones del análisis tecnológico 51
4.1. Principales conclusiones 51
4.2. Oportunidades identificadas 53
4.3. Barreras y necesidades para la implantación 53
4.4. Implicaciones prácticas 54
4.5. Limitaciones del análisis 55
5. Bibliografía 57

Índice de figuras

Figura 1. Términos asociados a las prácticas y modalidades de fraude mencionadas en las entrevistas 36

Figura 2. Diferencias de énfasis por perfil en el análisis tecnológico 47

Figura 3. Términos más frecuentes asociados a las tecnologías de autenticidad, trazabilidad y análisis avanzado 48

Figura 4. Términos más frecuentes asociados a las barreras y necesidades de implantación tecnológica 49

Figura 5. Síntesis integrada de los resultados del análisis tecnológico 50

Índice de Tablas

Tabla 1. Distribución de participantes según perfil 29

Tabla 2. Estructura de codificación del análisis tecnológico en NVivo 15 32

Tabla 3. Resultados de codificación por dimensiones tecnológicas en NVivo 15 33

Tabla 4. Términos más frecuentes asociados a las prácticas y modalidades de fraude mencionadas en las entrevistas 35

Tabla 5. Verbatim representativos de los principales hallazgos del análisis tecnológico .. 51

El Fraude Alimentario en el Sector del Aceite de Oliva en España: La Perspectiva del Sector Productivo

Financiación

El presente estudio se ha desarrollado en el marco del proyecto de investigación *"El fraude alimentario en el sector del aceite de oliva en España: la perspectiva del sector productivo"*, financiado mediante una subvención para la realización de proyectos de investigación concedida por el **Instituto de Estudios Giennenses (Diputación Provincial de Jaén)**.

1. Marco teórico

El presente marco teórico sintetiza los fundamentos necesarios para contextualizar el fraude alimentario en el sector del aceite de oliva y, de forma prioritaria, las herramientas tecnológicas orientadas a su prevención, detección, autenticación y trazabilidad.

1.1. El fraude alimentario: delimitación conceptual y vulnerabilidades

Este apartado delimita el concepto de fraude alimentario y examina las principales condiciones que explican su vulnerabilidad. En primer lugar, se aborda su conceptualización y las manifestaciones que puede adoptar. A continuación, se analizan los factores que favorecen su aparición, así como los mecanismos de prevención y control orientados a reducir las oportunidades de fraude y reforzar la integridad de la cadena alimentaria.

1.1.1. Conceptualización y principales manifestaciones

El fraude alimentario puede entenderse como una conducta deliberada orientada a obtener una ventaja económica mediante el engaño sobre un alimento, sus ingredientes, su origen, su composición, su calidad o la información que lo acompaña (Spink & Moyer, 2011, pp. R157-R158; Everstine et al., 2024, p. 1). Esta delimitación permite diferenciar el fraude de los fallos de calidad no intencionados, los errores administrativos o los incidentes accidentales de seguridad alimentaria. La intencionalidad y la motivación económica constituyen, por tanto, dos elementos esenciales para interpretar el fenómeno y evitar que cualquier incumplimiento sea clasificado automáticamente como fraude (Spink & Moyer, 2011, pp. R157-R158; Everstine et al., 2024, p. 1).

Esta concepción amplia también permite superar una visión restringida a la adulteración físico-química. El engaño puede afectar al propio producto, pero también a su identidad comercial, su categoría, su origen declarado, sus certificaciones, su etiquetado, la documentación asociada o los registros de trazabilidad. La clasificación

institucional utilizada en la Unión Europea diferencia, de forma general, entre manipulación del producto, manipulación de registros o documentación y otras no conformidades vinculadas a declaraciones implícitas, mientras que la literatura académica incluye prácticas como sustitución, dilución, adulteración, falsificación, etiquetado engañoso y tergiversación documental (European Commission, 2025, pp. 5-6; Visciano & Schirone, 2021, p. 425; Everstine et al., 2024, pp. 1-3).

La relevancia del fraude se acentúa en alimentos cuyos atributos son difíciles de verificar directamente. Cuando el comprador no puede comprobar con facilidad la autenticidad, el origen, la categoría o determinados procesos productivos, aumenta su dependencia de etiquetas, certificaciones, marcas, sistemas de trazabilidad y controles institucionales. En estas condiciones, la asimetría de información puede ampliar el margen para que un operador capture valor mediante declaraciones falsas o sustituciones difíciles de detectar (Chousou & Mattas, 2021, pp. 1947-1948; Kendall et al., 2019, pp. 80-81).

Por ello, el fraude alimentario puede entenderse como un fenómeno multidimensional en el que confluyen aspectos técnicos, económicos, institucionales e informacionales. Sus consecuencias tampoco se limitan al riesgo sanitario: pueden deteriorar la confianza del consumidor y debilitar la credibilidad de las señales de calidad, autenticidad y origen (Kendall et al., 2019, pp. 80-81, 85, 87; Chousou & Mattas, 2021, pp. 1947-1948, 1951). Asimismo, pueden generar efectos negativos sobre el funcionamiento del mercado y perjudicar a los operadores cumplidores (Chousou et al., 2018, pp. 1-2; European Commission, 2025, pp. 12-13). Este carácter transversal explica que su prevención requiera combinar mecanismos de verificación del producto con sistemas de información, trazabilidad y control (Yan et al., 2020, p. 2; Violino et al., 2020, pp. 15-16).

1.1.2. Vulnerabilidad, prevención y control

La complejidad y globalización de las cadenas agroalimentarias dificultan la prevención y detección del fraude. El número de operadores, las transacciones entre empresas, la diversidad de proveedores y la separación entre producción, transformación, distribución y consumo multiplican los puntos en los que pueden alterarse el producto o la información que lo acompaña. Everstine et al. (2024, pp. 1-2) destacan que las redes de suministro complejas y las dificultades analíticas asociadas a adulterantes no convencionales contribuyen a que el fraude siga siendo un problema difícil de prevenir y detectar.

Desde la perspectiva de vulnerabilidad, la literatura propone analizar conjuntamente las motivaciones, las oportunidades y las medidas de control. La existencia de incentivos económicos no implica por sí sola que se produzca fraude; el riesgo aumenta cuando esos incentivos coinciden con oportunidades operativas y con controles insuficientes o poco eficaces (van Ruth et al., 2017, pp. 70-72; Huisman & van Ruth, 2022, pp. 565-566). Así, la prevención exige identificar dónde pueden aparecer esas oportunidades y qué mecanismos permiten reducirlas.

Esta distinción es especialmente útil para las tecnologías antifraude. Las técnicas analíticas pueden detectar o confirmar determinadas adulteraciones, pero detectar un

incidente no equivale necesariamente a evitar que se produzca. En el caso del AOVE/EVOO, Yan et al. (2020, p. 2) plantean la necesidad de avanzar desde una lógica centrada exclusivamente en identificación y mitigación hacia estrategias de evaluación de vulnerabilidad y prevención. En consecuencia, las herramientas tecnológicas deben considerarse como parte de un sistema más amplio que combine control del producto, información, trazabilidad, autocontrol empresarial y supervisión institucional.

1.2. El fraude alimentario en el sector del aceite de oliva

Partiendo de esta caracterización general del fraude alimentario y de sus condiciones de vulnerabilidad, resulta necesario trasladar el análisis al contexto específico del aceite de oliva. En este sector, la relevancia económica del producto, la diferenciación entre categorías comerciales y la dificultad para verificar determinados atributos justifican una atención particular. A partir de estas características, se examinan los principales rasgos de vulnerabilidad del sector, las manifestaciones de fraude más relevantes y los mecanismos de prevención, control y trazabilidad empleados para reforzar la integridad del producto y de la información asociada a lo largo de la cadena.

1.2.1. Relevancia sectorial y rasgos de vulnerabilidad

El aceite de oliva constituye un producto estratégico para la Unión Europea y, de manera particular, para España. La elevada concentración de la producción, la orientación exportadora del sector y la existencia de categorías comerciales con valores económicos diferentes hacen que la integridad del producto y la credibilidad de la información sean especialmente relevantes. El AOVE/EVOO ocupa una posición singular porque concentra una prima de valor asociada a la categoría, al origen y a sus características de calidad, mientras que el consumidor tiene una capacidad limitada para verificar directamente muchos de esos atributos (Tribunal de Cuentas Europeo, 2026, pp. 42-44; Chousou & Mattas, 2021, pp. 1947-1948).

La cadena de valor incorpora operaciones que pueden aumentar la exposición al fraude. El aceite puede circular a granel, almacenarse, mezclarse y quedar sometido a distintos procesos antes de su comercialización final (Tribunal de Cuentas Europeo, 2026, pp. 5, 14-15, 42-44). En estos tránsitos, la trazabilidad y los controles documentales adquieren especial importancia para reconstruir los movimientos del producto y comprobar la coherencia de la información registrada. El balance de masas, basado en la correlación entre entradas, salidas y existencias, constituye un instrumento específico para detectar incoherencias y reforzar el control (Tribunal de Cuentas Europeo, 2026, pp. 36-39; Yan et al., 2020, p. 7).

La vulnerabilidad sectorial surge especialmente cuando coinciden una prima económica elevada, atributos difíciles de verificar y posibilidades técnicas u organizativas para alterar el producto o sus registros. Casadei et al. (2021, pp. 1, 7) identifican entre las prácticas relevantes la comercialización de aceite de calidad inferior como categoría superior, la mezcla con aceites de menor valor, la incorporación de determinados aceites tratados y las falsedades vinculadas al origen. Estas vulnerabilidades justifican una respuesta antifraude basada en mecanismos complementarios de control. Los controles

físico-químicos y sensoriales permiten verificar la categoría y determinadas características del producto, mientras que la trazabilidad documental y digital, la verificación del origen y los enfoques basados en riesgo amplían la capacidad de detectar incoherencias y orientar las actuaciones de control (Tribunal de Cuentas Europeo, 2026, pp. 6, 14, 36-39; Yan et al., 2020, pp. 1-2, 7).

1.2.2. Principales manifestaciones del fraude en el aceite de oliva

Una primera manifestación es la representación engañosa de la categoría comercial. Cuando un aceite de menor calidad se comercializa como AOVE/EVOO, el operador puede apropiarse de la prima económica asociada a la categoría superior. Los datos institucionales europeos también sitúan la representación engañosa entre los problemas destacados en el aceite de oliva, junto con las incidencias de etiquetado (European Commission, 2025, pp. 12-13).

La dilución, sustitución y mezcla con aceites de menor valor constituyen otra vulnerabilidad característica. Su detección puede resultar relativamente sencilla cuando el adulterante presenta un perfil muy diferente, pero se complica cuando se utilizan aceites de composición próxima, tratamientos suaves o porcentajes reducidos. De ahí la importancia de los métodos analíticos, los biomarcadores y las aproximaciones multivariantes revisadas en el bloque tecnológico (Casadei et al., 2021, p. 3; Lozano-Castellón et al., 2022, pp. 2639-2641).

El fraude también puede afectar a señales extrínsecas, en particular al origen, las figuras DOP/IGP, el etiquetado y la documentación. En estos casos, el producto físico puede no mostrar por sí mismo la discrepancia y la comprobación requiere contrastar registros, movimientos, declaraciones y, cuando sea posible, huellas analíticas o moleculares. Esta dimensión adquiere especial importancia en cadenas multiorigen, donde la verificación puede requerir cooperación entre operadores y autoridades de distintos territorios (Tribunal de Cuentas Europeo, 2026, pp. 40-41; European Commission, 2025, p. 13).

Por último, es necesario mantener la distinción entre fraude intencional y no conformidad. El aceite puede degradarse con el tiempo y determinadas desviaciones de calidad o presencia de contaminantes no permiten inferir automáticamente una conducta fraudulenta. La propia documentación institucional europea advierte de la dificultad de atribuir intencionalidad cuando no existe evidencia clara (European Commission, 2025, p. 12). Esta cautela resulta esencial para interpretar correctamente tanto los resultados analíticos como los indicios obtenidos mediante sistemas de vigilancia y trazabilidad.

1.2.3. Prevención, control y trazabilidad

La prevención del fraude en el aceite de oliva requiere mecanismos capaces de contrastar la correspondencia entre producto, categoría, origen, documentación y movimientos de la cadena. El marco europeo de controles oficiales adopta una orientación basada en riesgo y contempla expresamente la identificación de posibles infracciones intencionadas o engañosas. En este contexto, la trazabilidad, los controles documentales y físicos, el muestreo, el análisis de laboratorio, la evaluación sensorial y el intercambio de

información entre autoridades funcionan de forma complementaria (European Union, 2017, pp. 26, 80, 93).

La digitalización puede ampliar esta capacidad mediante registros electrónicos, bases de datos y sistemas de trazabilidad que faciliten la reconstrucción de operaciones y el intercambio de información. Las posibilidades y limitaciones de estas herramientas, así como su integración con la verificación material del producto y los controles institucionales, se desarrollan específicamente en el apartado 1.3.

1.3. Tecnologías antifraude aplicadas al aceite de oliva

A partir de los mecanismos de prevención, control y trazabilidad examinados en el apartado anterior, la atención se desplaza ahora hacia las herramientas tecnológicas que pueden reforzar la autenticación y el control del aceite de oliva. Estas soluciones abarcan desde parámetros analíticos, biomarcadores y técnicas instrumentales hasta sistemas orientados a verificar el origen y herramientas digitales de trazabilidad. Su utilidad, sin embargo, depende de su capacidad de validación, de la calidad de la información disponible y de su integración con los procedimientos de control existentes.

1.3.1. Mecanismos tecnológicos de detección, autenticación y trazabilidad en el aceite de oliva

La identificación de las vulnerabilidades específicas del aceite de oliva permite comprender por qué la prevención del fraude no puede apoyarse únicamente en la normativa o en la información declarada por los operadores. En este sector, las prácticas fraudulentas pueden afectar a la composición del producto, a su categoría comercial, al origen geográfico o a la documentación asociada. Por ello, la respuesta antifraude exige combinar mecanismos analíticos, sistemas de trazabilidad y controles institucionales capaces de contrastar la coherencia entre el producto físico y la información que lo acompaña (Casadei et al., 2021, p. 1; Lozano-Castellón et al., 2022, pp. 2639-2641; Yan et al., 2020, pp. 1-2).

En el caso del AOVE/EVOO, la literatura muestra que los fraudes más habituales incluyen la mezcla con aceites de menor valor, la comercialización de aceites de categorías inferiores como virgen extra, la ocultación o falsificación del origen y otras formas de representación engañosa del producto (Casadei et al., 2021, p. 1; Lozano-Castellón et al., 2022, p. 2641). Estas prácticas son especialmente relevantes porque el AOVE concentra una prima de valor asociada a su calidad, origen y propiedades organolépticas, mientras que el consumidor final tiene una capacidad limitada para comprobar directamente si el producto se corresponde con lo declarado en la etiqueta (Yan et al., 2020, p. 1; Chousou & Mattas, 2021, pp. 1947-1948).

Desde esta perspectiva, las tecnologías antifraude cumplen una función de verificación. Las técnicas analíticas permiten comprobar si la composición del aceite es compatible con lo esperable en un AOVE auténtico mediante el estudio de biomarcadores, perfiles químicos o huellas instrumentales. Lozano-Castellón et al. (2022) señalan como marcadores utilizados para este fin, los ácidos grasos, esteroles, tocoferoles, alcoholes triterpénicos, compuestos fenólicos, fosfolípidos, compuestos volátiles y pigmentos, entre

otros. Esto muestra que la autenticación no depende de un único indicador, sino de la interpretación conjunta de distintos perfiles del producto (Lozano-Castellón et al., 2022, pp. 2639-2641).

Junto a esta dimensión analítica, los sistemas de trazabilidad permiten vincular el producto con registros, lotes, operadores, movimientos y declaraciones de origen. Esta función es especialmente importante en cadenas donde el aceite puede circular a granel, mezclarse, almacenarse o cambiar de operador antes de llegar al consumidor final. En estos contextos, la trazabilidad puede reforzar la capacidad de reconstruir el recorrido del producto, pero sólo resulta eficaz si los datos introducidos son fiables y si el sistema permite contrastar la coherencia entre producto, documentación y registros (Violino et al., 2020, pp. 2-3, 15-16).

No obstante, la utilidad de estas herramientas debe interpretarse con cautela. Las técnicas analíticas permiten detectar fraudes ya producidos y reducir su impacto, pero no siempre son suficientes para prevenir nuevos incidentes si no se integran en estrategias de evaluación de vulnerabilidad, selección de proveedores, control de puntos críticos y supervisión institucional. En este sentido, Yan et al. (2020) advierten que el control del fraude en la cadena del AOVE requiere pasar de una lógica centrada sólo en identificar o mitigar incidentes a un enfoque preventivo basado en evaluación de riesgo y vulnerabilidad (Yan et al., 2020, p. 2).

Este planteamiento también es relevante para el origen geográfico. Aunque la normativa europea exige declarar el origen en los aceites vírgenes, Quintanilla-Casas et al. (2022) señalan que todavía no existe un método analítico oficial para verificarlo, por lo que la comprobación depende en gran medida de controles documentales. Su propuesta basada en la huella de hidrocarburos sesquiterpénicos mediante HS-SPME-GC-MS y modelos PLS-DA muestra que las técnicas instrumentales pueden contribuir a verificar declaraciones de origen UE/no UE y país de procedencia, pero también evidencia que la autenticación geográfica requiere validación, bases de datos y modelos robustos antes de convertirse en una herramienta de control generalizable (Quintanilla-Casas et al., 2022, pp. 1-2).

En conjunto, estas tecnologías amplían las posibilidades de verificación del producto, el origen y la información asociada a la cadena. Su aplicación práctica depende, no obstante, de condiciones como la validación de los métodos, la disponibilidad de recursos y bases de referencia, la fiabilidad de los datos y la capacidad institucional para utilizar las evidencias obtenidas (Yan et al., 2020, p. 2; Violino et al., 2020, pp. 15-16; Quintanilla-Casas et al., 2022, pp. 1-2; Kranz et al., 2026, pp. 22-23).

1.3.2. Parámetros, biomarcadores y huellas de autenticidad: qué se mide

La literatura reciente coincide en que la autenticación del AOVE/EVOO no puede depender de un único marcador ni de una sola técnica analítica. Las revisiones generales sobre fraude en aceite de oliva destacan la utilidad de combinar parámetros oficiales, compuestos mayoritarios y minoritarios, técnicas cromatográficas, espectroscópicas y modelos quimiométricos para detectar adulteraciones, verificar categorías comerciales o

identificar desviaciones respecto al perfil esperado del producto (Conte et al., 2020, pp. 483-484; González-Pereira et al., 2021, pp. 1-2; Lozano-Castellón et al., 2022, pp. 2639-2641; Casadei et al., 2021, p. 3). Esta orientación se refuerza en estudios recientes que emplean perfiles de esteroles, escualeno, ácidos grasos, compuestos volátiles o huellas instrumentales integradas en modelos multivariantes y de aprendizaje automático, lo que evidencia un desplazamiento desde indicadores aislados hacia enfoques combinados de clasificación y autenticación (Caño-Carrillo et al., 2024, pp. 17319-17320; Jing et al., 2025, pp. 7810-7811; Zhang et al., 2025, pp. 1-2).

En este primer nivel de análisis, la cuestión central no es todavía qué instrumento se utiliza, sino qué se mide para contrastar si el aceite responde a lo declarado. En el caso del AOVE/EVOO, los parámetros oficiales de calidad y pureza constituyen una primera base de verificación. Lozano-Castellón et al. (2022) recuerdan que el AOVE debe obtenerse exclusivamente mediante procedimientos mecánicos, presentar una acidez libre no superior al 0,8%, carecer de defectos sensoriales y mostrar atributos frutados (Lozano-Castellón et al., 2022, p. 2640). Estos criterios permiten delimitar la categoría comercial, pero no agotan la detección del fraude, ya que determinadas prácticas, como la mezcla con aceites de composición próxima, la incorporación de aceites tratados o la reclasificación de categorías, pueden exigir marcadores adicionales y métodos más específicos (Casadei et al., 2021, p. 3; Lozano-Castellón et al., 2022, p. 2641).

La literatura revisada muestra que la adulteración del AOVE/EVOO puede detectarse a partir de compuestos mayoritarios y minoritarios. En la fracción mayoritaria, los ácidos grasos, triglicéridos y otros componentes lipídicos permiten identificar desviaciones respecto al perfil esperado del aceite de oliva. Sin embargo, esta aproximación puede resultar insuficiente cuando el adulterante presenta una composición parecida o cuando la mezcla se realiza en proporciones reducidas. Por ello, las revisiones recientes insisten en que el aceite debe analizarse como una matriz compleja, formada por triacilglicéridos, glicéridos parciales, hidrocarburos, tocoferoles, pigmentos, esteroles, alcoholes, ácidos triterpénicos, compuestos volátiles, compuestos fenólicos, fosfolípidos y proteínas, entre otros componentes (González-Pereira et al., 2021, p. 2; Lozano-Castellón et al., 2022, p. 2639). Desde esta perspectiva, la autenticación no se basa en comprobar un único valor, sino en interpretar la coherencia del perfil completo del aceite, integrando compuestos mayoritarios, componentes minoritarios y variabilidad natural del producto (González-Pereira et al., 2021, p. 2; Lozano-Castellón et al., 2022, pp. 2639-2641).

Dentro de estos marcadores, la fracción minoritaria desempeña un papel central porque aporta información que no siempre aparece en los parámetros generales de calidad. Los esteroles, tocoferoles, pigmentos, compuestos fenólicos, escualeno, volátiles y alcoholes triterpénicos pueden contribuir a identificar adulteraciones, presencia de aceites vegetales no declarados, manipulaciones de categoría o desviaciones asociadas a tratamientos no permitidos. Lozano-Castellón et al. (2022) identifican como posibles marcadores de actividades fraudulentas la clorofila natural, los diacilgliceroles, los ácidos grasos, los ésteres de ceras, los compuestos fenólicos y los esteroles (Lozano-Castellón et al., 2022, p. 2641). Esta diversidad de marcadores confirma que las prácticas fraudulentas pueden dejar señales químicas diferentes según afecten a la composición, al

tratamiento del aceite, a la categoría comercial o a la información declarada (Lozano-Castellón et al., 2022, pp. 2639-2641).

El análisis de esteroles y alcoholes triterpénicos ilustra bien esta evolución desde parámetros individuales hacia perfiles más detallados. Los métodos oficiales y muchas aplicaciones previas han permitido determinar el contenido total de esteroles, pero esa información puede no ser suficiente para distinguir aceites con perfiles próximos o detectar determinadas manipulaciones. Caño-Carrillo et al. (2024) señalan que el análisis convencional del contenido total de esteroles puede perder información relevante al no diferenciar adecuadamente entre esteroles libres y esterificados. Por ello, proponen un método 2D-LC-HRMS para analizar simultáneamente alcoholes triterpénicos, esteroles libres y ésteres de esteroles, destacando que la relación entre esteroles libres y esterificados puede aportar información útil para detectar manipulación de grasas y fraude en aceites de oliva (Caño-Carrillo et al., 2024, pp. 17319-17320).

Esta misma lógica aparece en los estudios que combinan biomarcadores con modelos de clasificación. Jing et al. (2025) emplean perfiles de escualeno y fitoesteroles obtenidos mediante GC-MS para diferenciar AOVE auténtico de muestras adulteradas con aceites de soja, colza, cacahuete y maíz. Posteriormente, integran esos perfiles en modelos como PCA, HCA, PLS-DA, OPLS-DA, KNN y árboles de decisión, lo que permite clasificar muestras y detectar patrones de adulteración a partir de la combinación de variables químicas (Jing et al., 2025, pp. 7810-7811). Este tipo de aproximación muestra que los biomarcadores ya no se utilizan únicamente como valores aislados, sino como variables integradas en sistemas de clasificación capaces de interpretar relaciones complejas entre componentes (Jing et al., 2025, pp. 7810-7811).

Los trabajos más recientes también exploran relaciones entre compuestos como vía para mejorar la sensibilidad de detección. Zhang et al. (2025) plantean que la detección de adulteraciones en AOVE/EVOO es un reto analítico debido a la complejidad composicional del producto. Los autores distinguen entre métodos basados en compuestos específicos, como esteroles, volátiles o ácidos grasos, y métodos basados en relaciones entre compuestos, que pueden mejorar la capacidad discriminante. En su propuesta, los indicadores binarios basados en relaciones entre ácido linoleico y estigmasterol permiten alcanzar límites de sensibilidad inferiores al 1% para aceites de colza, girasol y maíz, y próximos al 3% para aceite de soja, además de otros indicadores orientados a identificar el tipo de adulterante (Zhang et al., 2025, pp. 1-2, 12). Este enfoque refuerza la idea de que la autenticación avanza hacia patrones combinados más que hacia marcadores únicos, especialmente cuando se busca mejorar la sensibilidad de detección ante distintos tipos de adulterantes (Zhang et al., 2025, pp. 1-2, 12).

No obstante, el uso de biomarcadores debe interpretarse con cautela porque la composición del AOVE/EVOO puede variar legítimamente por factores naturales y tecnológicos. Lozano-Castellón et al. (2022) señalan que, aunque el AOVE se produce siguiendo un procedimiento básico común, su composición y propiedades sensoriales varían en función de la variedad, el grado de maduración, el ambiente, el procesado y las condiciones de almacenamiento (Lozano-Castellón et al., 2022, p. 2640). Esto significa que una desviación composicional no siempre implica fraude, del mismo modo que una

composición aparentemente compatible no descarta por completo una manipulación si el adulterante es similar o se encuentra en baja proporción (Lozano-Castellón et al., 2022, p. 2640; Hayakawa et al., 2020, pp. 677-678).

Esta cautela resulta especialmente importante cuando el adulterante tiene una composición próxima a la del aceite auténtico o cuando se desconoce de antemano qué tipo de mezcla se está buscando. Hayakawa et al. (2020) recuerdan que la composición química del AOVE puede verse afectada por la variedad y el origen geográfico, y que la identificación de mezclas con pequeñas cantidades de aceites vegetales resulta especialmente difícil cuando se desconoce la identidad del adulterante (Hayakawa et al., 2020, pp. 677-678). Por tanto, la interpretación de los biomarcadores exige considerar tanto la variabilidad natural del producto como las características específicas del fraude investigado, especialmente cuando el adulterante es desconocido o se encuentra en baja proporción (Hayakawa et al., 2020, pp. 677-678).

En conjunto, los parámetros oficiales, biomarcadores y huellas de autenticidad constituyen la base material de la detección del fraude, pero no deben interpretarse como pruebas aisladas ni universalmente suficientes. Su utilidad depende del tipo de fraude, del adulterante utilizado, del porcentaje de mezcla, de la similitud composicional entre aceites, de la variabilidad natural del AOVE/EVOO y del grado de validación del método. La literatura revisada converge en una idea central: la autenticación del aceite de oliva exige pasar de indicadores simples a perfiles integrados, capaces de combinar compuestos mayoritarios, componentes minoritarios, relaciones entre biomarcadores y modelos de clasificación (González-Pereira et al., 2021, pp. 1-2; Lozano-Castellón et al., 2022, pp. 2639-2641; Caño-Carrillo et al., 2024, pp. 17319-17320; Jing et al., 2025, pp. 7810-7811; Zhang et al., 2025, pp. 1-2).

Sobre esta base, el siguiente apartado aborda el segundo nivel de la autenticación: las técnicas instrumentales y los modelos utilizados para captar e interpretar estos indicadores.

1.3.3. Técnicas instrumentales y modelos multivariantes: cómo se mide

Una vez identificados los parámetros, biomarcadores y huellas de autenticidad que pueden revelar desviaciones en la categoría, composición u origen del aceite, el segundo nivel de análisis se centra en las técnicas utilizadas para medir esos indicadores y transformarlos en evidencias útiles para la detección del fraude. A efectos de ordenar esta revisión, este subapartado diferencia entre técnicas instrumentales, que permiten captar información química, espectral o estructural del aceite, y modelos multivariantes, que permiten interpretar patrones complejos y clasificar muestras en función de su autenticidad, origen o grado de adulteración. Esta organización no implica que ambos niveles funcionen de forma separada. Al contrario, la literatura reciente muestra que muchas herramientas antifraude dependen precisamente de la combinación entre señal instrumental y análisis estadístico o computacional (González-Pereira et al., 2021, pp. 1-2; Varnasseri et al., 2021, pp. 2-3; Nanou et al., 2025, pp. 6-8).

En el aceite de oliva, la literatura revisada no se limita a una única familia instrumental. González-Pereira et al. (2021) organizan las técnicas disponibles para

detectar fraude en aceites de oliva en bloques amplios, incluyendo espectroscopía, espectrometría, cromatografía líquida y gaseosa, técnicas biomoleculares, metabolómica, imagen hiperespectral y quimiometría (González-Pereira et al., 2021, pp. 1-2). Esta diversidad refleja la complejidad del fraude en el sector: algunas prácticas requieren identificar adulterantes concretos, otras verificar la categoría comercial, otras discriminar el origen y otras detectar patrones composicionales que no serían evidentes mediante un único parámetro. Por ello, la elección de la técnica depende del objetivo analítico, del tipo de fraude sospechado, del nivel de precisión necesario y de las condiciones prácticas en las que se vaya a aplicar el control (González-Pereira et al., 2021, pp. 1-2; Varnasseri et al., 2021, pp. 2-3).

Las técnicas cromatográficas han ocupado tradicionalmente un lugar central en la autenticación y el control de calidad del aceite de oliva. La cromatografía de gases, la cromatografía líquida de alta resolución y sus combinaciones con espectrometría de masas permiten analizar perfiles de ácidos grasos, triglicéridos, esteroles, compuestos volátiles, ceras, alcoholes triterpénicos y otros componentes relevantes para detectar adulteraciones o desviaciones respecto al perfil esperado. Estas técnicas ofrecen una elevada capacidad analítica y permiten aproximarse al fraude desde la composición química del producto. Sin embargo, también presentan limitaciones prácticas cuando se pretende trasladarlas a controles rápidos o sistemáticos. González-Pereira et al. (2021) advierten que, aunque los métodos oficiales incluyen procedimientos cromatográficos, su aplicación puede resultar compleja, requerir preparación laboriosa de muestras o implicar el uso de compuestos tóxicos (González-Pereira et al., 2021, p. 2).

Esta tensión entre precisión analítica y aplicabilidad práctica aparece de forma recurrente en la literatura. Los métodos convencionales pueden ofrecer bajos límites de detección y resultados robustos, pero suelen requerir laboratorios especializados, personal entrenado, preparación de muestra y mayor tiempo de análisis. Varnasseri et al. (2021) subrayan precisamente que los métodos analíticos tradicionales pueden ser sensibles y precisos, pero no siempre resultan adecuados para escenarios donde se necesita rapidez, portabilidad o cribado de muchas muestras (Varnasseri et al., 2021, pp. 2-3). Esta limitación no reduce su valor, pero sí explica por qué una parte importante de la investigación reciente se orienta hacia técnicas más rápidas, no destructivas y potencialmente aplicables fuera del laboratorio (González-Pereira et al., 2021, pp. 1-2; Varnasseri et al., 2021, pp. 2-3).

En este contexto, las técnicas espectroscópicas han ganado peso como herramientas de cribado y autenticación. Entre ellas destacan NIR, MIR, FTIR, Raman, UV-Vis, fluorescencia, RMN, LIBS y SORS. Su interés reside en que muchas permiten obtener información del producto con escasa o nula preparación de muestra, en menos tiempo y, en algunos casos, sin destruir la muestra. No obstante, estas técnicas suelen generar huellas instrumentales complejas que no se interpretan de manera directa, sino mediante modelos estadísticos o quimiométricos. Por tanto, su valor no depende sólo de la técnica de medida, sino también de la capacidad del modelo para transformar la señal obtenida en una clasificación fiable del producto (González-Pereira et al., 2021, pp. 1-3; Varnasseri et al., 2021, pp. 2-3).

El desarrollo de Raman y SORS ilustra bien este avance hacia herramientas más rápidas y potencialmente aplicables en contextos operativos. Varnasseri et al. (2021) exploran el uso de Raman portátil y SORS para autenticar AOVE/EVOO, incluyendo el análisis a través del propio envase. Su estudio trabaja con mezclas de AOVE y aceite de girasol, aceite de orujo y aceite refinado, seleccionados por su distinto grado de similitud química con el AOVE. Este planteamiento muestra una cuestión importante: la eficacia de la técnica no depende únicamente del instrumento, sino también del tipo de adulterante, del porcentaje de mezcla y de la proximidad composicional entre el aceite auténtico y el aceite añadido (Varnasseri et al., 2021, pp. 1-3). Así, la detección de un aceite vegetal claramente diferente puede resultar más sencilla que la identificación de un aceite refinado o de un aceite con perfil químico más próximo al AOVE/EVOO, lo que confirma que la eficacia de la técnica depende también del tipo de adulterante y de su similitud composicional (Varnasseri et al., 2021, pp. 1-3).

La posibilidad de analizar el aceite a través del envase resulta especialmente atractiva para controles rápidos, no destructivos o de cribado en puntos de distribución. Sin embargo, esta ventaja introduce nuevos retos metodológicos. Horns et al. (2025) explican que SORS permite obtener información del interior de la muestra a través de distintos tipos de envase, aunque el propio principio de medida puede reducir la sensibilidad. Además, las condiciones de análisis in situ no son equivalentes a las condiciones de laboratorio, por lo que la transferencia a controles reales exige considerar el tipo de envase, las condiciones de medición y la validación del método fuera del entorno experimental (Horns et al., 2025, pp. 2-3). Esta advertencia refuerza una idea transversal en el apartado tecnológico: rapidez y portabilidad no equivalen automáticamente a aplicabilidad generalizada, ya que la transferencia a condiciones reales exige validar la técnica frente a envases, escenarios de medida y condiciones de control distintas a las del laboratorio (Horns et al., 2025, pp. 2-3).

La espectroscopía LIBS constituye otro ejemplo de técnica emergente que requiere interpretación multivariante. Nanou et al. (2025), en su revisión sobre LIBS aplicada a autenticación y trazabilidad, muestran que los estudios recientes sobre adulteración de aceite de oliva combinan esta técnica con algoritmos como PCA, LDA, SVM, regresión logística o gradient boosting. Estas combinaciones se emplean especialmente para clasificar aceites puros y adulterados con aceites de orujo, maíz, soja o girasol (Nanou et al., 2025, pp. 6-8). El interés de LIBS se sitúa, por tanto, no sólo en la señal instrumental que genera, sino en su integración con modelos capaces de reconocer patrones y discriminar entre muestras auténticas y adulteradas (Nanou et al., 2025, pp. 6-8).

La combinación entre técnica instrumental y modelo estadístico es una de las tendencias más claras en la literatura reciente. Las señales obtenidas mediante espectroscopía, cromatografía, espectrometría, LIBS o SORS suelen producir matrices de datos complejas, por lo que se requieren herramientas como PCA, PLS-DA, LDA, SVM, regresión logística, redes neuronales, KNN, árboles de decisión o estrategias de fusión de datos. Estos modelos permiten reducir dimensionalidad, detectar agrupaciones, clasificar muestras, estimar porcentajes de adulteración o diferenciar orígenes. En este sentido, los modelos multivariantes no son un complemento secundario, sino una parte central del

proceso de autenticación cuando se trabaja con huellas instrumentales complejas (Bragolusi et al., 2021, pp. 359-361; Nanou et al., 2025, pp. 6-8; Deng et al., 2024, pp. 1-2).

La utilidad de combinar distintas fuentes de información se observa con claridad en los estudios de fusión de datos. Bragolusi et al. (2021) aplican NIR y Raman para diferenciar AOVE/EVOO italiano y griego mediante PLS-DA y estrategias de fusión. Sus resultados muestran que NIR y Raman por separado obtienen precisiones inferiores, mientras que la fusión de bajo nivel alcanza un 93,9% de precisión y la fusión de nivel medio un 97,0%, con especificidad del 100% en ambos casos (Bragolusi et al., 2021, pp. 359-361). Este resultado no debe interpretarse sólo como una mejora porcentual, sino como evidencia de que distintas técnicas pueden captar información complementaria sobre el producto. En otras palabras, cuando una única señal instrumental no recoge toda la variabilidad relevante, la combinación de técnicas puede reforzar la capacidad discriminante del modelo (Bragolusi et al., 2021, pp. 359-361).

No obstante, los porcentajes elevados de clasificación deben interpretarse con prudencia. El propio estudio de Bragolusi et al. (2021) se presenta como preliminar y reconoce que el tamaño muestral reducido limita la potencia del modelo y puede generar márgenes de error amplios. Por ello, los autores plantean la necesidad de ampliar el conjunto de muestras, incorporar AOVE/EVOO de orígenes europeos y no europeos y avanzar hacia validaciones multisede con bases de datos más amplias (Bragolusi et al., 2021, p. 363). Esta advertencia es fundamental para no confundir rendimiento experimental con aplicabilidad directa en control oficial o autocontrol empresarial. Un modelo puede funcionar bien en una muestra concreta y, aun así, necesitar validación externa antes de trasladarse a escenarios reales (Bragolusi et al., 2021, p. 363).

El aprendizaje automático amplía esta tendencia hacia sistemas de cribado de alto rendimiento. Deng et al. (2024) proponen un sistema basado en espectroscopía UV-Vis y machine learning para la autenticación de aceites comestibles, incluido el aceite de oliva. Los autores destacan que este enfoque permite una caracterización rápida, no destructiva y sin etiquetado, orientada al cribado industrial a gran escala, y reportan una alta capacidad discriminante en adulteración de aceite de oliva con aceites comestibles más baratos a partir de un conjunto experimental amplio, de aproximadamente 11.500 mediciones (Deng et al., 2024, pp. 1-2). Este tipo de aproximación muestra el potencial de la inteligencia artificial para procesar grandes volúmenes de datos espectrales y detectar patrones que podrían pasar desapercibidos mediante análisis más simples (Deng et al., 2024, pp. 1-2).

Sin embargo, las soluciones basadas en aprendizaje automático también comparten los límites generales de los modelos multivariantes. Su rendimiento depende de la calidad y representatividad de las muestras utilizadas para entrenar el modelo, de la inclusión de variabilidad natural suficiente, de la diversidad de adulterantes considerados, de la estabilidad de la señal instrumental y de la validación frente a muestras externas. Por ello, estas herramientas deben entenderse principalmente como sistemas de cribado, clasificación o apoyo a la decisión, no como sustitutos automáticos de controles

confirmatorios cuando el fraude sea complejo, el adulterante sea químicamente similar o el nivel de adulteración sea bajo (Bragolusi et al., 2021, p. 363; Deng et al., 2024, pp. 1-2).

En conjunto, las técnicas instrumentales permiten transformar los biomarcadores y huellas de autenticidad en evidencias analíticas, mientras que los modelos multivariantes permiten interpretar patrones complejos y mejorar la clasificación de muestras. La literatura revisada muestra una evolución desde métodos clásicos, basados en parámetros o compuestos específicos, hacia enfoques integrados que combinan cromatografía, espectroscopía, espectrometría, LIBS, SORS, aprendizaje automático y fusión de datos. Esta evolución resulta especialmente relevante para el aceite de oliva porque las prácticas fraudulentas no siempre generan señales simples ni fáciles de detectar. En muchos casos, la identificación exige comparar perfiles completos, combinar fuentes de información y validar modelos frente a muestras reales, adulterantes diversos y condiciones de control aplicables (González-Pereira et al., 2021, pp. 1-3; Varnasseri et al., 2021, pp. 1-3; Bragolusi et al., 2021, pp. 359-363; Nanou et al., 2025, pp. 6-8; Deng et al., 2024, pp. 1-2).

Esta revisión permite entender que el avance tecnológico no se encuentra sólo en el desarrollo de instrumentos más sensibles, sino en la capacidad de integrar señales, modelos y criterios de contraste externo (Bragolusi et al., 2021, pp. 359-363; Nanou et al., 2025, pp. 6-8; Deng et al., 2024, pp. 1-2). Por tanto, el reto no consiste únicamente en "medir mejor", sino en construir herramientas analíticas que sean suficientemente robustas, interpretables y transferibles para apoyar decisiones de autenticación, cribado y control del fraude en contextos reales (Bragolusi et al., 2021, p. 363; Deng et al., 2024, pp. 1-2). Esta idea conecta con los siguientes subapartados, donde se analiza cómo estas técnicas se aplican a problemas específicos de origen, DOP/IGP, trazabilidad territorial y trazabilidad digital.

1.3.4. Autenticación de origen, DOP/IGP y trazabilidad territorial

La autenticación del origen geográfico constituye una dimensión específica dentro de las tecnologías antifraude aplicadas al aceite de oliva. En este caso, el problema no siempre consiste en alterar la composición básica del producto, sino en declarar una procedencia que no se corresponde con la realidad, apropiarse de una reputación territorial o utilizar de forma indebida una certificación de calidad. Esta vulnerabilidad es especialmente relevante en el AOVE/EVOO y el VOO/virgen, porque el origen funciona como una señal de autenticidad, diferenciación y valor añadido. Quintanilla-Casas et al. (2022) señalan que los puntos de contacto nacionales de la EU Food Fraud Network identificaron como prioritarios los controles sobre el cumplimiento del origen declarado UE/no UE, el país de procedencia y las certificaciones geográficas, como DOP e IGP (Quintanilla-Casas et al., 2022, p. 2).

Esta dimensión territorial presenta una dificultad particular: el origen no puede verificarse únicamente observando el producto ni leyendo la etiqueta. Aunque la declaración de origen sea obligatoria en determinados aceites, su comprobación requiere contrastar la información declarada con evidencias químicas, genéticas, isotópicas, documentales o de trazabilidad. Winkelmann y Küchler (2019) subrayan que el etiquetado

engañoso sobre el origen geográfico es una práctica frecuente y que, pese a la obligatoriedad de declarar el origen en el aceite de oliva, no existe un método oficial generalmente aceptado para comprobar la conformidad de dicha declaración (Winkelmann & Küchler, 2019, p. 1). Esta ausencia de un método único refuerza la necesidad de desarrollar herramientas complementarias que permitan discriminar países, regiones o zonas productoras con suficiente robustez para apoyar controles de autenticidad (Winkelmann & Küchler, 2019, p. 1; Quintanilla-Casas et al., 2022, pp. 1-2).

La literatura sobre autenticación geográfica muestra precisamente esa pluralidad de enfoques. No existe una única huella territorial válida para todos los contextos, sino un conjunto de marcadores y técnicas que buscan capturar la relación entre el aceite y su zona de producción. Quintanilla-Casas et al. (2022) recogen el uso de perfiles de ácidos grasos, compuestos volátiles, fenoles, triacilglicéridos, isótopos, elementos traza, RMN, NIR, MIR, Raman, fluorescencia, FTIR, dispositivos electrónicos como e-nose o e-tongue, y modelos quimiométricos (Quintanilla-Casas et al., 2022, pp. 1-2). Esta diversidad confirma que la autenticación territorial no depende sólo de medir una composición química, sino de identificar patrones suficientemente estables y diferenciadores entre territorios (Quintanilla-Casas et al., 2022, pp. 1-2).

Dentro de esta pluralidad de enfoques, los marcadores químicos aportan información relevante, pero también deben interpretarse con cautela. Algunos compuestos pueden estar influidos por la variedad, las condiciones edafoclimáticas, el procesado, el almacenamiento o el estado de conservación del aceite. Por ello, los ácidos grasos, los compuestos volátiles o los fenoles suelen combinarse con otros marcadores para obtener información complementaria y reducir el riesgo de clasificaciones erróneas. Quintanilla-Casas et al. (2022) señalan que, aunque los ácidos grasos se han utilizado ampliamente en autenticación geográfica, actualmente suelen combinarse con otros marcadores, como compuestos volátiles o fenólicos, precisamente porque estos pueden aportar información adicional sobre el origen y la autenticidad del producto (Quintanilla-Casas et al., 2022, pp. 1-2).

Una propuesta de especial interés para verificar el origen de aceites vírgenes es la huella de hidrocarburos sesquiterpénicos mediante HS-SPME-GC-MS. Quintanilla-Casas et al. (2022) desarrollan y validan modelos PLS-DA para autenticar el origen UE/no UE y el país de procedencia a partir de esta huella. El interés de estos compuestos reside en que se relacionan con factores genéticos y pedoclimáticos y, según los autores, están poco influidos por el procesado y el almacenamiento. Además, el estudio trabaja con 400 aceites vírgenes trazables, procedentes de países de la UE y de terceros países, producidos en condiciones industriales reales y durante varias campañas, lo que permite representar mejor la variabilidad natural del producto (Quintanilla-Casas et al., 2022, pp. 2-3). Este tipo de aproximación resulta especialmente valiosa porque intenta conectar el origen declarado con una huella química relativamente estable y verificable.

Las técnicas espectroscópicas y la fusión de datos también han mostrado potencial para la autenticación territorial. Bragolusi et al. (2021) aplican NIR y Raman para diferenciar AOVE/EVOO italiano y griego mediante PLS-DA y estrategias de fusión de datos. Sus resultados muestran que las técnicas por separado obtienen precisiones

inferiores, mientras que la fusión de bajo nivel alcanza un 93,9% de precisión y la fusión de nivel medio un 97,0%, con especificidad del 100% en ambos casos (Bragolusi et al., 2021, pp. 359-361). Más allá del dato concreto, este resultado refuerza una conclusión relevante: cuando el origen geográfico se expresa a través de señales químicas o espectrales complejas, la combinación de técnicas puede captar información complementaria y mejorar la capacidad discriminante del modelo (Bragolusi et al., 2021, pp. 359-361).

Ahora bien, los propios estudios advierten que los resultados obtenidos en laboratorio no deben trasladarse de forma automática al control rutinario. Bragolusi et al. (2021) reconocen el carácter preliminar de su investigación y señalan que el tamaño muestral reducido limita la potencia del modelo. Por ello, proponen ampliar la base de muestras, incorporar AOVE/EVOO de orígenes europeos y no europeos y avanzar hacia validaciones multisede con conjuntos de datos más robustos (Bragolusi et al., 2021, p. 363). Esta cautela es especialmente importante en autenticación geográfica, porque los modelos deben distinguir no sólo entre muestras ideales de laboratorio, sino entre aceites reales, campañas distintas, variedades diferentes y condiciones productivas cambiantes (Bragolusi et al., 2021, p. 363).

El caso andaluz merece una atención particular para este contexto, ya que conecta autenticación territorial, proximidad productiva y métodos rápidos. Sánchez-Rodríguez et al. (2024) proponen combinar espectroscopía NIR, PCA y modelos de aprendizaje automático para clasificar AOVE/EVOO según origen geográfico o DOP. Además, incorporan información agroclimática a los modelos, lo que mejora la precisión y la fiabilidad de los resultados. Los autores justifican esta aproximación porque técnicas clásicas como la cromatografía de gases o líquida ofrecen información bien resuelta, pero son más lentas, costosas y requieren manipulación de muestra. Frente a ello, NIR permite capturar un perfil químico amplio de forma rápida y más económica, aunque necesita herramientas quimiométricas por la superposición de bandas espectrales (Sánchez-Rodríguez et al., 2024, p. 1194).

Esta aportación muestra que la autenticación territorial no depende sólo de la muestra de aceite considerada de forma aislada. La incorporación de información agroclimática permite contextualizar la señal analítica y relacionarla con condiciones territoriales que pueden influir en el perfil del producto. En términos de trazabilidad territorial, esto supone avanzar hacia modelos que integran datos químicos, espectrales y contextuales para mejorar la clasificación de origen o pertenencia a una DOP. Sin embargo, como ocurre con otros enfoques basados en aprendizaje automático, su utilidad práctica dependerá de la representatividad de las muestras, de la variabilidad incorporada al modelo y de la validación frente a campañas, zonas y condiciones productivas diferentes (Sánchez-Rodríguez et al., 2024, p. 1194).

Junto a las huellas químicas e instrumentales, las técnicas basadas en ADN ofrecen una vía complementaria para la trazabilidad varietal y territorial. Martins-Lopes et al. (2008) explican que los marcadores basados en la composición del aceite pueden verse influidos por condiciones ambientales, mientras que los marcadores de ADN son independientes del ambiente y pueden utilizarse para identificar cultivares presentes en

una muestra de aceite. En su estudio emplean marcadores RAPD, ISSR y SSR para establecer relaciones entre aceites monovarietales y aceites comerciales portugueses con fines de certificación (Martins-Lopes et al., 2008, p. 11786). Esta perspectiva resulta útil cuando el vínculo entre territorio, variedad y certificación forma parte de la identidad comercial del producto y se busca reforzar la autenticación varietal mediante marcadores menos dependientes del ambiente (Martins-Lopes et al., 2008, p. 11786).

No obstante, la trazabilidad molecular también presenta límites. Martins-Lopes et al. (2008) señalan que los marcadores SSR son útiles para la identificación de aceites DOP, pero pueden no ser siempre tan eficientes como se espera cuando los aceites están compuestos por varias variedades o cuando se utiliza un número reducido de marcadores. Por ello, plantean la conveniencia de emplear tecnologías adicionales para identificar con mayor precisión la relación entre muestra y denominación o región de procedencia (Martins-Lopes et al., 2008, p. 11789). Esta advertencia es importante porque muestra que el ADN puede reforzar la autenticación varietal, pero no resuelve por sí solo todos los problemas de origen, especialmente en aceites multivarietales o mezclas (Martins-Lopes et al., 2008, p. 11789).

Los trabajos más recientes profundizan en esta línea molecular y la conectan con la protección del consumidor. Savoia et al. (2024) destacan que los métodos basados en ADN pueden contribuir a identificar el origen territorial de los aceites de oliva y reforzar la trazabilidad. Los autores explican que, dentro de las técnicas moleculares, los SSR y SNP son actualmente los marcadores más utilizados, y que los SSR resultan especialmente extendidos por su reproducibilidad, polimorfismo, coste y facilidad de detección. También señalan que, en aceites elaborados con varias variedades, la complejidad alélica puede dificultar la interpretación, por lo que el uso de alelos privados puede ayudar a identificar macroáreas geográficas de origen (Savoia et al., 2024, pp. 2-3).

En conjunto, la autenticación de origen, DOP/IGP y trazabilidad territorial no depende de una única técnica, sino de la integración de huellas químicas, espectroscópicas, genéticas, isotópicas, documentales y modelos multivariantes. Las evidencias revisadas muestran avances relevantes para verificar el origen UE/no UE, el país de procedencia, la región productora, la pertenencia a DOP/IGP o la composición varietal. Al mismo tiempo, subrayan límites comunes: ausencia de un método oficial único, necesidad de bases de datos de referencia, influencia de la variabilidad natural, complejidad de los aceites multivarietales y exigencia de validación externa antes de trasladar los modelos a controles rutinarios (Quintanilla-Casas et al., 2022, pp. 1-3; Winkelmann & Küchler, 2019, p. 1; Bragolusi et al., 2021, pp. 359-363; Sánchez-Rodríguez et al., 2024, p. 1194; Martins-Lopes et al., 2008, pp. 11786, 11789; Savoia et al., 2024, pp. 2-3).

Esta función territorial conecta con el siguiente subapartado, dedicado a la trazabilidad digital y a las tecnologías orientadas a reconstruir, asegurar y comunicar la trayectoria del producto a lo largo de la cadena. En términos de este estudio, la autenticación de origen permite contrastar la correspondencia entre el territorio declarado y el perfil químico, espectroscópico o molecular del producto, mientras que la trazabilidad digital busca registrar, transmitir y consultar la información asociada a operadores, lotes y

fases de la cadena (Quintanilla-Casas et al., 2022, pp. 1-3; Martins-Lopes et al., 2008, pp. 11786, 11789; Savoia et al., 2024, pp. 2-3; Violino et al., 2020, pp. 1-3). Ambas dimensiones son complementarias, porque la protección del origen requiere tanto pruebas analíticas o moleculares como sistemas fiables de registro, transmisión y consulta de la información (Quintanilla-Casas et al., 2022, pp. 1-3; Violino et al., 2020, pp. 2-3).

1.3.5. Trazabilidad digital, blockchain y tecnologías orientadas al consumidor: cómo se controla y comunica la cadena

La trazabilidad digital constituye una dimensión complementaria a las técnicas analíticas y a la autenticación de origen, porque desplaza el foco desde la composición del aceite hacia la reconstrucción de su trayectoria a lo largo de la cadena. En el caso del AOVE/EVOO, esta función resulta clave porque el valor del producto depende no sólo de sus características físico-químicas, sino también de la coherencia entre origen, lote, categoría, operador, proceso y documentación asociada. Violino et al. (2020) señalan que la trazabilidad del AOVE puede contribuir a garantizar la autenticidad del producto y proteger al consumidor cuando forma parte de un sistema capaz de certificar la información registrada. Los mismos autores recuerdan que la trazabilidad permite seguir el movimiento del producto desde la producción, el procesamiento y la distribución, incorporando información sobre la trayectoria del producto, el origen de los materiales y las fases de transformación (Violino et al., 2020, pp. 1-2).

Esta dimensión es importante porque la etiqueta, por sí sola, no garantiza necesariamente la autenticidad, la calidad o la seguridad del producto. En productos diferenciados por origen, categoría o certificación, el etiquetado funciona como una señal de calidad, pero esa señal necesita estar respaldada por sistemas de registro, verificación y control. Violino et al. (2020) indican que los sistemas de certificación de origen, como DOP e IGP, se apoyan en el etiquetado, pero advierten que el uso exclusivo de etiquetas no es suficiente para asegurar autenticidad, calidad y seguridad. Por ello, plantean la necesidad de implementar procedimientos de trazabilidad a lo largo de toda la cadena del AOVE/EVOO (Violino et al., 2020, p. 2). Esta idea coincide con la literatura sobre soluciones antifalsificación, que distingue entre proteger la originalidad del producto, asociada al fabricante, la marca o el origen, y proteger su integridad, es decir, evitar que sea manipulado, adulterado, mal etiquetado o falsificado durante la cadena (Maritano et al., 2024, p. 2).

En términos tecnológicos, la trazabilidad digital se apoya en herramientas que permiten identificar, registrar, transmitir y consultar información asociada al producto. La literatura revisada menciona códigos QR, códigos de barras, RFID, NFC, aplicaciones móviles, bases de datos, blockchain y contratos inteligentes como instrumentos que pueden reforzar la relación entre producto físico e información digital. Violino et al. (2019) explican que los consumidores pueden acceder a información de trazabilidad mediante etiquetas físicas o aplicaciones digitales, y que los sistemas actuales incorporan etiquetas inteligentes como RFID, NFC y códigos QR. Los autores añaden que RFID ofrece ventajas logísticas por su automatización y lectura dentro de plataformas de distribución, mientras que NFC y QR facilitan el acceso del consumidor a la información mediante

dispositivos móviles (Violino et al., 2019, p. 3). En la misma línea, Maritano et al. (2024) identifican códigos, RFID, NFC y blockchain como soluciones orientadas a reforzar la identificación, trazabilidad y protección de productos de alto valor frente a falsificación o manipulación (Maritano et al., 2024, pp. 4-5).

Los prototipos aplicados al AOVE/EVOO muestran cómo estas tecnologías pueden integrarse en sistemas de trazabilidad de principio a fin. Violino et al. (2020) desarrollan un sistema basado en RFID, códigos QR, una aplicación específica y un diseño preparado para su integración con blockchain. El sistema permite seguir el AOVE desde el olivo hasta el consumidor final: RFID en el olivo y en las cajas durante la recolección, registro de información de procesado y rendimiento durante la molturación, incorporación de información nutricional y, finalmente, un código QR protegido en la botella que permite al consumidor consultar la información de trazabilidad mediante un enlace web (Violino et al., 2020, pp. 1, 3-6). Esta aproximación resulta relevante porque no limita la trazabilidad al tramo final del envase, sino que intenta conectar producción, transformación, lote, información registrada y consulta por parte del consumidor (Violino et al., 2020, pp. 1, 3-6).

Desde el punto de vista del control, estos sistemas permiten vincular información física y digital de distintas fases de la cadena. Violino et al. (2020) explican que un sistema de infotracing puede integrar información sobre calidad y trazabilidad mediante documentos físicos y digitales, RFID y sistemas de información online. Además, describen blockchain como una base distribuida de registros cifrados, verificable posteriormente, en la que la información introducida no puede eliminarse, lo que permite proteger las transacciones frente a alteraciones posteriores (Violino et al., 2020, pp. 2-3). En productos donde la trayectoria del lote, el origen y la coherencia documental forman parte del valor percibido, esta capacidad de registrar y proteger información puede reforzar la credibilidad de las señales que llegan al mercado (Violino et al., 2020, pp. 2-3).

Ahora bien, la trazabilidad digital no debe interpretarse como una garantía automática de veracidad. Este es uno de los límites más importantes señalados por la literatura. Violino et al. (2020) advierten que, aunque RFID y blockchain pueden ofrecer altos niveles de seguridad frente a la modificación posterior de los datos, siempre existe la posibilidad de falsificar físicamente el producto a lo largo de la cadena o de introducir información falsa desde el inicio, que después quedaría encapsulada y transmitida por el propio sistema blockchain (Violino et al., 2020, pp. 15-16). Por tanto, estas tecnologías pueden dificultar la alteración posterior del registro, pero no garantizan por sí solas que el dato registrado sea verdadero ni que el producto físico se corresponda con la información introducida (Violino et al., 2020, pp. 15-16).

Esta cautela también aparece en la literatura sobre tecnologías antifalsificación. Maritano et al. (2024) señalan que códigos, RFID, NFC, blockchain y otros sistemas de identificación electrónica pueden reforzar la trazabilidad y la protección de productos de alto valor, pero también pueden sufrir ataques como modificación de información almacenada, clonación de datos de etiquetas auténticas o traslado de una etiqueta lícita a un producto falsificado. Por ello, los autores destacan la necesidad de soluciones que impidan la clonación, la duplicación o la transferencia de etiquetas, mediante cifrado,

claves privadas, contraseñas o integración física en el envase (Maritano et al., 2024, pp. 4-5). Esta advertencia refuerza la idea de que la trazabilidad digital debe diseñarse no sólo como un sistema de información, sino también como un sistema de protección frente a usos oportunistas de la propia señal tecnológica (Maritano et al., 2024, pp. 4-5).

En el caso específico del aceite de oliva, las soluciones digitales se orientan tanto al control de la cadena como a la comunicación de valor al consumidor. Maritano et al. (2024) recogen que el sector ha mostrado un interés creciente por la digitalización y el uso de teléfonos inteligentes con fines de autenticación. Entre las soluciones revisadas se encuentran códigos QR, RFID, NFC, sistemas blockchain y contratos inteligentes. Los autores mencionan propuestas basadas en RFID para impedir la entrada de aceitunas no trazadas en la cadena, NFC para monitorizar etapas del suministro de AOVE/EVOO, QR para comunicar la trayectoria del producto al consumidor y blockchain para certificar el AOVE y registrar indicadores de calidad, sostenibilidad ambiental y sostenibilidad social a lo largo de la cadena (Maritano et al., 2024, pp. 9-10). Esto muestra que las tecnologías digitales pueden cumplir una doble función: reforzar el control interno de la cadena y convertir la trazabilidad en una señal comunicable en el mercado (Maritano et al., 2024, pp. 9-10).

La dimensión orientada al consumidor adquiere especial interés desde una perspectiva de marketing, porque la trazabilidad digital no sólo registra información, sino que también puede hacerla visible, comprensible y accesible. Violino et al. (2019) analizan tres tecnologías de etiquetado electrónico para AOVE/EVOO: NFC, dispositivo antimanipulación con RFID y aplicación, y código QR protegido mediante sistema scratch and win asociado a blockchain. En una encuesta a consumidores italianos, los autores encuentran que el 94% de los encuestados mostraba interés por la implementación de estas tecnologías, que el 44,6% eligió la opción QR con blockchain y que los consumidores interesados estaban dispuestos a pagar una prima media del 17,8% por estas soluciones de trazabilidad (Violino et al., 2019, pp. 1, 8-9). Estos resultados sugieren que la trazabilidad puede actuar también como señal de valor, siempre que el consumidor perciba que aporta información útil y confianza (Violino et al., 2019, pp. 1, 8-9).

No obstante, la aceptación del consumidor no depende únicamente de la disponibilidad técnica de la herramienta. Violino et al. (2019) advierten que, aunque los consumidores están familiarizados con códigos QR y NFC, no siempre están dispuestos a leerlos de forma habitual si no perciben un valor añadido. Por ello, la confianza en el servicio y en el proveedor resulta esencial (Violino et al., 2019, pp. 2-3). Esta observación refuerza la importancia de la información como mecanismo de reducción de la asimetría: una tecnología visible en el envase no reduce automáticamente la incertidumbre; para aportar valor, debe ser comprensible, creíble y percibida como útil por el consumidor (Violino et al., 2019, pp. 2-3; Maritano et al., 2024, pp. 9-10).

Los estudios recientes sobre comunicación blockchain en el sector oleícola refuerzan esta conexión entre trazabilidad, comunicación y mercado. Consolaro et al. (2025) señalan que una parte importante de la sociedad todavía desconoce el valor de la trazabilidad blockchain como certificación adicional de autenticidad, seguridad y calidad.

Por ello, la comunicación puede ayudar a orientar la confianza, la aceptación y la intención de compra del consumidor. Además, los autores destacan que la comunicación de la trazabilidad blockchain puede contribuir a diferenciar los productos oleícolas y a mitigar la asimetría informativa tanto en la cadena como en los mercados de consumo (Consolaro et al., 2025, pp. 105-106). Esta aportación permite situar la trazabilidad digital no sólo como mecanismo técnico, sino también como estrategia de comunicación de calidad y confianza.

En esta línea, Consolaro et al. (2025) subrayan el papel de la web corporativa como canal para explicar al consumidor cómo utilizar herramientas de trazabilidad blockchain, como códigos QR, códigos de lote o aplicaciones, y para comunicar el valor de la adopción de estas tecnologías. Su estudio se centra en la comunicación web de organizaciones oleícolas que utilizan blockchain, con el objetivo de identificar qué perfiles y factores empresariales influyen en la cantidad de información comunicada sobre trazabilidad (Consolaro et al., 2025, pp. 106-107). Esta perspectiva resulta relevante para esta investigación porque conecta la tecnología antifraude con la gestión de la información, la transparencia percibida y la construcción de confianza en torno al producto (Consolaro et al., 2025, pp. 106-107).

La trazabilidad digital también plantea retos organizativos y no sólo tecnológicos. Aparicio-Ruiz et al. (2022), en una encuesta internacional a actores del aceite de oliva, muestran que la implementación de sistemas de trazabilidad depende de factores como la disposición a compartir datos, los costes, la complejidad del producto, la falta de herramientas analíticas y la falta de orientación para implantar sistemas de trazabilidad. En su estudio, sólo el 43% de los actores europeos encuestados estaría dispuesto a proporcionar datos registrados a una red de productores para mejorar la trazabilidad, mientras que el 46% condicionaría esa decisión a las condiciones de intercambio. Además, los problemas más señalados para implementar trazabilidad fueron la complejidad del producto, los costes y la falta de herramientas analíticas (Aparicio-Ruiz et al., 2022, p. 8). Por tanto, la trazabilidad digital no depende sólo de que exista una tecnología disponible, sino también de la cooperación entre actores y de la capacidad organizativa para alimentar el sistema con datos fiables (Aparicio-Ruiz et al., 2022, p. 8).

En conjunto, la literatura revisada permite entender la trazabilidad digital, blockchain y las tecnologías orientadas al consumidor como herramientas que amplían el control del fraude desde el producto físico hacia la información que circula por la cadena. Estas herramientas pueden registrar movimientos, vincular lotes, proteger etiquetas, facilitar consultas al consumidor, reforzar la comunicación de origen y calidad, y generar nuevas señales de confianza (Violino et al., 2020, pp. 1-3; Violino et al., 2019, pp. 1, 8-9; Maritano et al., 2024, pp. 9-10; Consolaro et al., 2025, pp. 105-107). Sin embargo, las fuentes revisadas coinciden en que su eficacia depende de la calidad de los datos introducidos, de la protección frente a clonación o manipulación de etiquetas, de la integración con controles analíticos, de la disposición de los actores a compartir información y de la capacidad de comunicar al consumidor un valor claro y creíble (Violino et al., 2020, pp. 15-16; Maritano et al., 2024, pp. 4-5; Aparicio-Ruiz et al., 2022, p. 8; Consolaro et al., 2025, pp. 105-107).

Por ello, este tipo de herramientas debe entenderse como apoyo a la autenticación y al control del fraude, no como sustituto de la verificación física, analítica e institucional. Su aportación principal consiste en reforzar la continuidad de la información, mejorar la capacidad de reconstruir la trayectoria del producto y ofrecer al consumidor señales más accesibles sobre origen, calidad y autenticidad. Pero para que esta función sea efectiva, la información registrada debe ser fiable, los identificadores deben estar protegidos frente a manipulación o clonación, los actores de la cadena deben cooperar en el intercambio de datos y el sistema debe complementarse con controles capaces de verificar la correspondencia entre registros y producto real (Violino et al., 2020, pp. 2-3, 15-16; Violino et al., 2019, p. 3; Maritano et al., 2024, pp. 4-5, 9-10; Aparicio-Ruiz et al., 2022, p. 8).

1.3.6. Límites de aplicación, validación y prevención del fraude

Aunque las tecnologías de detección, autenticación y trazabilidad ofrecen herramientas muy relevantes para combatir el fraude en el aceite de oliva, su aplicación práctica no está exenta de límites. La literatura revisada muestra que no existe una única técnica capaz de resolver todas las formas de fraude, porque las prácticas fraudulentas pueden afectar a dimensiones distintas del producto y de la cadena. Algunas se dirigen a la composición del aceite, otras a su categoría comercial, otras al origen declarado y otras a la documentación o a la trazabilidad. Por ello, la utilidad de cada método depende del tipo de fraude investigado, del adulterante utilizado, del nivel de mezcla, de la similitud composicional entre aceites y del contexto en el que se aplica el control (Casadei et al., 2021, p. 3; González-Pereira et al., 2021, pp. 1-2; Varnasseri et al., 2021, pp. 2-3).

Un primer límite es de carácter técnico y metodológico. Los métodos cromatográficos y espectrométricos pueden ofrecer información muy precisa sobre la composición del aceite, pero suelen requerir laboratorios especializados, personal entrenado, preparación de muestras y mayor tiempo de análisis. González-Pereira et al. (2021) advierten que, aunque los métodos oficiales incluyen procedimientos cromatográficos, estos pueden presentar inconvenientes prácticos, como complejidad metodológica, uso de compuestos tóxicos o preparación laboriosa de muestras (González-Pereira et al., 2021, p. 2). En una línea similar, Varnasseri et al. (2021) señalan que los métodos analíticos convencionales pueden ofrecer bajos límites de detección, pero normalmente requieren equipos de laboratorio, experiencia técnica y más tiempo de análisis (Varnasseri et al., 2021, pp. 2-3). Esta tensión entre precisión analítica y aplicabilidad práctica es uno de los retos centrales para trasladar las tecnologías antifraude desde el laboratorio hacia controles rutinarios (González-Pereira et al., 2021, p. 2; Varnasseri et al., 2021, pp. 2-3).

Las técnicas rápidas y no destructivas, como NIR, Raman, SORS, UV-Vis, LIBS o fluorescencia, pueden facilitar el cribado y reducir tiempos de análisis. Sin embargo, tampoco deben interpretarse como soluciones automáticas. Muchas de ellas generan huellas instrumentales complejas que necesitan ser procesadas mediante modelos multivariantes, lo que exige bases de datos representativas, entrenamiento adecuado y validación externa. Además, su rendimiento puede variar según el tipo de envase, las condiciones de medida, el nivel de adulteración y la proximidad química entre el aceite auténtico y el adulterante. Horns et al. (2025), por ejemplo, recuerdan que SORS permite

analizar el interior de una muestra a través del envase, pero que las condiciones de análisis in situ difieren de las condiciones de laboratorio y que la sensibilidad puede verse afectada por el propio principio de medida (Horns et al., 2025, pp. 2-3). Por tanto, la rapidez y la portabilidad son ventajas importantes, pero no eliminan la necesidad de comprobar que la técnica funciona en condiciones reales de control (Horns et al., 2025, pp. 2-3).

Un segundo límite se relaciona con la generalización de los modelos. Los estudios basados en quimiometría, fusión de datos o aprendizaje automático pueden alcanzar porcentajes elevados de clasificación en contextos experimentales, pero esos resultados no siempre son directamente transferibles al control oficial o al autocontrol empresarial. Bragolusi et al. (2021), pese a obtener buenos resultados al combinar NIR y Raman para diferenciar AOVE/EVOO italiano y griego, reconocen el carácter preliminar de su investigación y señalan que el tamaño muestral reducido limita la potencia del modelo. Por ello, plantean la necesidad de ampliar la base de muestras, incorporar aceites de distintos orígenes europeos y no europeos y avanzar hacia validaciones multisede con conjuntos de datos más robustos (Bragolusi et al., 2021, p. 363). Esta cautela es importante porque una clasificación elevada en un conjunto concreto de muestras no equivale necesariamente a una herramienta consolidada para escenarios reales, donde intervienen campañas, variedades, mezclas, condiciones de conservación y perfiles productivos más diversos (Bragolusi et al., 2021, p. 363).

La complejidad del fraude también condiciona la técnica necesaria. En el aceite de oliva, el problema no se limita a detectar mezclas simples con aceites vegetales claramente diferentes. Casadei et al. (2021) muestran que los fraudes pueden incluir aceite de girasol desterolizado, aceites desodorizados en condiciones suaves, adulterantes con perfiles de ácidos grasos o esteroles similares, aceites de menor calidad, falsedades en denominaciones de origen y problemas de etiquetado (Casadei et al., 2021, p. 3). Esto implica que una técnica útil para detectar un tipo de adulterante puede no ser suficiente para identificar otro fraude más próximo al perfil natural del aceite. Por tanto, la selección metodológica debe ajustarse al riesgo concreto que se quiere controlar y no aplicarse de forma uniforme a cualquier sospecha de fraude (Casadei et al., 2021, p. 3; González-Pereira et al., 2021, pp. 1-2).

La trazabilidad digital presenta límites distintos, pero igualmente relevantes. Tecnologías como RFID, códigos QR, NFC o blockchain pueden reforzar el registro, la consulta y la comunicación de información a lo largo de la cadena, pero no garantizan automáticamente que esa información sea verdadera. Violino et al. (2020) plantean un sistema completo de trazabilidad del AOVE/EVOO basado en RFID, códigos QR, aplicación digital y diseño preparado para su integración con blockchain, capaz de seguir el producto desde el olivo hasta el consumidor final. Sin embargo, los propios autores advierten que siempre puede introducirse información falsa desde el inicio o manipularse físicamente el producto a lo largo de la cadena, de modo que el sistema digital puede acabar transmitiendo de forma estable una información incorrecta si no existen controles que verifiquen la correspondencia entre dato registrado y producto real (Violino et al.,

2020, pp. 1-3, 15-16). Por ello, la trazabilidad digital refuerza el control, pero no sustituye a la verificación física, documental y analítica (Violino et al., 2020, pp. 1-3, 15-16).

Además, la prevención del fraude no depende únicamente de disponer de tecnologías avanzadas. También depende de la posición que ocupa cada actor en la cadena, de sus recursos, de sus incentivos, de sus rutinas de control y de su capacidad para detectar comportamientos oportunistas. Yan et al. (2020) aplican la herramienta SSAFE a veintiocho empresas de la cadena del AOVE/EVOO y muestran que la vulnerabilidad percibida varía según el tipo de actor. En su estudio, los minoristas y las empresas B2B presentan niveles más altos de vulnerabilidad percibida que productores y fabricantes, especialmente por oportunidades relacionadas con tiempo y lugar y por la falta de medidas de control (Yan et al., 2020, pp. 1, 7-8). Esta evidencia muestra que el fraude no se explica sólo por la existencia de una técnica de adulteración, sino también por las oportunidades organizativas y comerciales que aparecen en determinados puntos de la cadena (Yan et al., 2020, pp. 1, 7-8).

Esta última cuestión es clave para evitar una lectura excesivamente tecnológica del fraude. La tecnología puede mejorar la detección, generar indicios, reforzar la trazabilidad o facilitar el cribado, pero la prevención requiere integrar esos resultados en decisiones de gestión y control. Esto incluye la selección y auditoría de proveedores, el análisis de balances de masa, la verificación de documentación, los controles en puntos críticos, los protocolos de actuación ante indicios, la cooperación con autoridades y la actualización periódica de la evaluación de vulnerabilidad. Huisman y van Ruth (2022) subrayan que los factores de vulnerabilidad pueden cambiar con el tiempo y que las evaluaciones deben actualizarse regularmente. Además, advierten que los resultados de herramientas como SSAFE dependen de la información y percepción de los participantes, por lo que pueden existir sesgos de autoselección, diferencias de conocimiento y dudas sobre si las percepciones declaradas reflejan vulnerabilidades reales (Huisman & van Ruth, 2022, pp. 565, 573-574).

Aunque el aceite de oliva dispone de un marco normativo avanzado y de métodos oficiales para evaluar calidad, pureza y autenticidad, la literatura señala que siguen existiendo limitaciones relevantes en la detección de determinados fraudes. Conte et al. (2020) destacan, entre otros aspectos, la dificultad para identificar algunas mezclas con aceites vegetales, la detección de aceites suavemente desodorizados y la necesidad de métodos instrumentales que apoyen la evaluación organoléptica en zonas límite entre categorías comerciales. Esta revisión pone de manifiesto que la eficacia del control no depende únicamente de disponer de técnicas analíticas, sino también de que estas sean robustas, estén validadas y puedan aplicarse de forma coherente en el marco regulatorio y operativo del sector (Conte et al., 2020, pp. 483-484, 491).

Desde esta perspectiva, el principal límite de las tecnologías antifraude no es sólo técnico, sino también organizativo e institucional. Para que los métodos analíticos, los modelos multivariantes y los sistemas de trazabilidad sean útiles en la práctica, deben integrarse en sistemas de control capaces de convertir los resultados en decisiones verificables. La literatura revisada apunta a la necesidad de métodos validados, bases de datos representativas, modelos transferibles, controles documentales y físicos, y marcos

preventivos que reduzcan tanto las oportunidades como las motivaciones de fraude (Yan et al., 2020, p. 2; Kranz et al., 2026, pp. 22-23; Huisman & van Ruth, 2022, pp. 565-566). En otras palabras, la tecnología aumenta la capacidad de observar, registrar o clasificar, pero la prevención depende de cómo se incorporan esos resultados a la gestión y al control efectivos de la cadena (Yan et al., 2020, p. 2; Huisman & van Ruth, 2022, pp. 565-566; Kranz et al., 2026, pp. 22-23).

En síntesis, las tecnologías de detección, autenticación y trazabilidad no sustituyen a los sistemas de prevención y control del fraude, sino que los refuerzan cuando se aplican dentro de un enfoque preventivo. Su papel es contrastar la coherencia entre producto, etiqueta, origen, documentación y registros, pero su eficacia depende de la validación de los métodos, de la calidad de los datos, de la representatividad de las bases de referencia, de la capacidad de los actores para implementar controles y de la coordinación institucional. Por ello, en el caso del aceite de oliva, la respuesta antifraude debe entenderse como una combinación de análisis técnico, trazabilidad verificable, evaluación de vulnerabilidad y control institucional, no como la aplicación aislada de una única tecnología (Yan et al., 2020, pp. 1-2; Casadei et al., 2021, p. 3; Huisman & van Ruth, 2022, pp. 560-566; Kranz et al., 2026, pp. 22-23; Violino et al., 2020, pp. 15-16).

Junto a estos límites técnicos, la transferencia de las soluciones tecnológicas al sector depende de condiciones de adopción que exceden su rendimiento analítico. La literatura revisada señala, entre otros factores, los costes y la complejidad de implantación, la disponibilidad de capacidades especializadas, la disposición a compartir información, la existencia de orientación para integrar los sistemas y la validación de los métodos en condiciones reales. En consecuencia, la disponibilidad de una tecnología no implica por sí sola su adopción efectiva, sino que esta requiere condiciones organizativas, informacionales e institucionales que permitan incorporarla a las rutinas de control (Aparicio-Ruiz et al., 2022, p. 8; Bragolusi et al., 2021, p. 363; Violino et al., 2020, pp. 15-16).

1.4. Implicaciones generales para el mercado y el consumidor

El fraude en el aceite de oliva tiene consecuencias que superan el incumplimiento asociado a un lote o a una transacción concreta. Cuando se altera la correspondencia entre lo que el producto declara y lo que realmente contiene, representa o acredita, también puede debilitarse la credibilidad de las señales que sostienen su diferenciación en el mercado. En el caso del AOVE/EVOO, estas señales incluyen la categoría comercial, el origen, las certificaciones, la marca, el etiquetado y la trazabilidad. Su relevancia es especialmente elevada porque una parte importante de esos atributos no puede ser comprobada directamente por el consumidor en el momento de la compra, de modo que la decisión depende en buena medida de la información ofrecida y de los mecanismos que respaldan su fiabilidad (Kendall et al., 2019, pp. 80-81; Chousou & Mattas, 2021, pp. 1947-1948).

Desde la perspectiva del mercado, esta situación plantea un problema de competencia. Los operadores que producen y comercializan conforme a la categoría real, mantienen sistemas de autocontrol, invierten en certificación, análisis y trazabilidad y

asumen los costes derivados del cumplimiento pueden verse perjudicados cuando otros agentes obtienen una ventaja económica mediante prácticas engañosas. En un producto en el que existen diferencias de valor entre categorías y atributos de origen o calidad, la manipulación de esas señales permite apropiarse indebidamente de parte del valor asociado a la diferenciación. La literatura sectorial y la información institucional europea muestran, precisamente, que la representación engañosa, los problemas de etiquetado y las irregularidades vinculadas al origen forman parte de las vulnerabilidades relevantes del aceite de oliva (Chousou et al., 2018, pp. 1-2; European Commission, 2025, pp. 12-13).

Las consecuencias se trasladan también a la confianza del consumidor. Cuando la autenticidad, la categoría o el origen no son directamente verificables, el consumidor necesita confiar en que el sistema de producción, certificación, trazabilidad y control respalda la información presentada en el mercado. La existencia o percepción de fraude puede introducir incertidumbre sobre esa correspondencia y aumentar la importancia de señales que permitan reducirla. Por esta razón, la confianza no depende únicamente del producto físico, sino también de la credibilidad de los operadores, de las certificaciones y de la capacidad de los sistemas públicos y privados para verificar lo declarado (Kendall et al., 2019, pp. 85, 87; Chousou & Mattas, 2021, pp. 1947-1948, 1951).

En este contexto, las tecnologías de trazabilidad y autenticación pueden tener una función que trasciende el control interno. Herramientas como QR, RFID, NFC o blockchain permiten hacer visible parte de la información asociada al producto y facilitar su consulta a lo largo de la cadena o por parte del consumidor. La literatura revisada muestra que estas soluciones pueden reforzar la identificación, la continuidad del registro y la comunicación de atributos como el origen o la autenticidad, pero también advierte que la mera presencia de una herramienta tecnológica no constituye una garantía suficiente. Para que la trazabilidad digital contribuya realmente a la confianza, la información debe ser útil, comprensible y verificable, y el consumidor debe percibir que existe un respaldo creíble detrás del dato comunicado (Violino et al., 2019, pp. 2-3; Maritano et al., 2024, pp. 9-10; Consolaro et al., 2025, pp. 105-107).

Esta cuestión resulta especialmente relevante para evitar que la tecnología se convierta únicamente en una nueva señal comercial. Un código QR puede ampliar la información disponible, pero no demuestra por sí mismo que el aceite tenga la categoría, el origen o las características declaradas; del mismo modo, blockchain puede dificultar modificaciones posteriores de los registros, pero no garantiza que el dato inicial introducido en el sistema sea verdadero. Por ello, la capacidad de estas tecnologías para aportar valor al mercado depende de su conexión con controles físicos, analíticos, documentales e institucionales que permitan contrastar la correspondencia entre la información registrada y el producto real (Violino et al., 2020, pp. 15-16; Maritano et al., 2024, pp. 4-5).

La dimensión informativa también introduce un reto de accesibilidad y comprensión. Aumentar la cantidad de datos disponibles no implica necesariamente mejorar la información que recibe el consumidor. La trazabilidad puede contribuir a reducir la incertidumbre cuando permite acceder de forma sencilla a contenidos relevantes sobre

procedencia, proceso o controles, pero su utilidad disminuye si la información es excesivamente técnica, difícil de interpretar o no ofrece un valor claramente identificable. En este sentido, la comunicación de las tecnologías antifraude debe acompañar a su implantación: no basta con registrar más información, sino que es necesario seleccionar qué información resulta pertinente, cómo puede presentarse de forma comprensible y qué garantías respaldan su contenido (Violino et al., 2019, pp. 2-3; Consolaro et al., 2025, pp. 105-107).

En conjunto, las implicaciones para el mercado y el consumidor refuerzan la necesidad de entender la lucha contra el fraude como un problema de integridad del producto y de la información que lo acompaña. La mejora de la autenticación, la trazabilidad y la capacidad de control puede proteger al operador cumplidor, reducir espacios de competencia desleal y sostener la credibilidad de las señales utilizadas para diferenciar los aceites de mayor valor. Al mismo tiempo, estas herramientas pueden contribuir a que el consumidor disponga de información más fiable, siempre que su diseño se apoye en mecanismos efectivos de verificación. Desde la perspectiva del mercado, la eficacia de las medidas antifraude también condiciona la credibilidad del sistema que permite comunicar y reconocer la calidad, el origen y la autenticidad del aceite de oliva.

Este marco permite delimitar el análisis empírico del presente estudio. El estudio cualitativo no pretende comprobar experimentalmente la eficacia de cada tecnología ni estimar de forma numérica un nivel de conocimiento o un grado de aceptación. Su finalidad es examinar cómo los actores del sector conocen y valoran las soluciones antifraude, qué usos reales o potenciales les atribuyen y qué condiciones, oportunidades y barreras identifican para su implantación. Sobre esta base se estructura el análisis mediante NVivo 15 que se presenta a continuación.

2. Metodología del estudio cualitativo

En este capítulo se describe el diseño metodológico del estudio, la selección de participantes, el desarrollo del trabajo de campo y el procedimiento seguido para la preparación y análisis de la información.

2.1. Diseño de la investigación

Para dar respuesta a los objetivos de la investigación, se optó por un estudio de naturaleza cualitativa, orientado a conocer en profundidad las percepciones y valoraciones de actores vinculados al sector de los aceites de oliva sobre el fraude alimentario y, especialmente, sobre los mecanismos disponibles para su prevención, detección y control. Este enfoque resultaba adecuado para abordar un fenómeno complejo en el que intervienen dimensiones técnicas, económicas y organizativas y para explorar, de manera particular, el conocimiento y valoración de las herramientas tecnológicas aplicables a la autenticidad y trazabilidad del producto, así como sus condiciones de aplicación, adopción y uso.

La recogida de información se realizó mediante entrevistas semiestructuradas en profundidad. Se partió de una estructura temática común, pero se mantuvo suficiente

flexibilidad para adaptar las preguntas al ámbito de conocimiento y a la posición profesional de cada participante. Esta configuración permitió profundizar en cuestiones específicas de los distintos perfiles y, al mismo tiempo, mantener una base común que facilitara posteriormente la comparación de los discursos.

El diseño contempló desde el inicio la incorporación de distintos perfiles vinculados al sector de los aceites de oliva y a la prevención y control del fraude, con el propósito de recoger perspectivas complementarias sobre las cuestiones analizadas. Junto a productores y envasadores, se incluyeron participantes procedentes de entidades de certificación, instituciones de control, investigación, asociaciones sectoriales y profesionales y representación de consumidores. Esta diversidad permitió abordar el fenómeno desde posiciones con funciones, conocimientos y grados de proximidad diferentes respecto de la autenticidad, la trazabilidad y las tecnologías antifraude.

2.2. Selección de participantes

La selección se realizó mediante un muestreo intencional o por criterio, dirigido a identificar participantes con conocimientos, experiencia o responsabilidades directamente relacionados con el sector oleícola y con las cuestiones analizadas. El propósito fue reunir perfiles capaces de aportar información especializada y perspectivas complementarias.

Inicialmente se elaboró una relación amplia de posibles informantes pertenecientes a distintos ámbitos. A medida que avanzó el trabajo de campo, esta selección se complementó mediante recomendaciones realizadas por algunos de los propios participantes, incorporando así un componente de bola de nieve.

El corpus definitivo quedó constituido por 25 participantes, distribuidos en seis perfiles, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Distribución de participantes según perfil

Perfil	**N**
Productores/envasadores	7
Certificaciones DOP/IGP	5
Instituciones de control	2
Expertos/investigadores	2
Asociaciones sectoriales y organizaciones profesionales	8
Asociación de consumidores	1
Total	**25**

La composición final respondió a la búsqueda de diversidad de posiciones y a la disponibilidad efectiva de los diferentes actores. El cierre del trabajo de campo se determinó atendiendo conjuntamente a la reiteración creciente de argumentos, la

cobertura de los perfiles considerados pertinentes para el estudio y las posibilidades reales de acceso a nuevos participantes.

Cabe destacar, que se intentó también incorporar representantes de laboratorios como perfil específico, aunque finalmente no fue posible obtener entrevistas de este colectivo. Esta ausencia se considera una limitación de cobertura.

Para preservar el anonimato y facilitar la trazabilidad del análisis, cada participante fue identificado mediante un código que combinaba el orden de realización de la entrevista y el perfil de pertenencia.

2.3. Diseño y realización de las entrevistas

El diseño del guion estuvo precedido por una revisión de la literatura sobre fraude alimentario y, particularmente, sobre fraude, autenticidad, trazabilidad y tecnologías de control aplicables al sector de los aceites de oliva. A partir de esta revisión se elaboró una primera versión, posteriormente revisada y ajustada antes de iniciar el trabajo de campo.

El guion incorporó cuestiones relativas a la conceptualización y principales manifestaciones del fraude, sus posibles motivaciones, los sistemas de prevención y control, los procedimientos de detección y de manera especialmente relevante para los objetivos del estudio, las tecnologías orientadas a mejorar la autenticidad, la trazabilidad y la capacidad de identificación de irregularidades. Asimismo, permitió recoger otras cuestiones sectoriales que emergieron durante las entrevistas.

El guion actuó como una guía flexible, no como un cuestionario cerrado. Las preguntas se adaptaron progresivamente a los distintos perfiles y a los conocimientos específicos de cada participante. Cuando una cuestión prevista había surgido espontáneamente durante la conversación, no se reiteraba necesariamente de forma posterior. La primera entrevista actuó además como piloto integrado y, al no requerir modificaciones sustanciales del diseño, fue incorporada al corpus definitivo.

El trabajo de campo se desarrolló entre el 19 de enero y el 1 de julio de 2026. De las 25 entrevistas, 20 se realizaron mediante Google Meet, tres presencialmente, una por vía telefónica y una mediante respuesta escrita al guion. La última entrevista oral tuvo lugar el 28 de mayo y el corpus quedó definitivamente cerrado con la recepción de la respuesta escrita el 1 de julio. Las entrevistas orales tuvieron una duración aproximada de entre 30 y 90 minutos.

Las entrevistas orales fueron grabadas con conocimiento y consentimiento de los participantes. Previamente se facilitó la correspondiente información sobre el estudio y el consentimiento informado. Todas las entrevistas fueron realizadas por la misma investigadora, favoreciendo la aplicación homogénea del diseño y de los criterios de conducción de las conversaciones.

2.4. Preparación y análisis mediante NVivo 15

Las 24 entrevistas orales fueron transcritas inicialmente con apoyo de TurboScribe y revisadas posteriormente mediante una nueva escucha de las grabaciones originales. La

entrevista E25-I2, recibida en formato escrito, no requirió transcripción y se incorporó directamente al conjunto de documentos analizados. Antes del análisis, todos los documentos fueron depurados y anonimizados, manteniendo un código estable para cada participante.

Para el análisis cualitativo de las 25 entrevistas se creó un proyecto en NVivo 15, estructurado de acuerdo con los objetivos del estudio. El diseño analítico se orientó a examinar las soluciones vinculadas con autenticidad, detección, trazabilidad y digitalización, así como su aplicación sectorial, los factores que favorecen su adopción y las barreras o necesidades que condicionan su implantación. El conocimiento y la aceptación se trataron cualitativamente a través de la familiaridad expresada por los participantes con las distintas herramientas, las valoraciones realizadas sobre su utilidad y limitaciones, los usos reales o potenciales identificados y las condiciones señaladas para su adopción.

Cada entrevista se vinculó a un caso individual y los casos se clasificaron mediante los atributos Perfil y Modalidad de entrevista. La distribución por perfiles fue la ya descrita en el apartado 2.2 y fue desigual, de acuerdo con el carácter del muestreo.

2.4.1. Estructura de codificación

La estructura de codificación se diseñó de acuerdo con los objetivos del estudio y con los principales ámbitos tecnológicos abordados en la literatura revisada. Se definieron seis dimensiones amplias para organizar y analizar el material de forma aplicada y comparable entre entrevistas, tal como se recoge en la Tabla 2.

Tabla 2. Estructura de codificación del análisis tecnológico en NVivo 15

Código	Dimensión	Descripción del código
1	Tecnologías de autenticidad y detección	Tecnologías y métodos orientados a comprobar la autenticidad del aceite, detectar alteraciones, adulteraciones o problemas de categoría y apoyar la verificación analítica o sensorial. Incluye, cuando proceda, NIR/MIR, nariz electrónica, ADN, técnicas ópticas, métodos instrumentales y otras estrategias analíticas.
2	Tecnologías de trazabilidad y digitalización	Tecnologías y sistemas orientados al registro, seguimiento, intercambio y consulta de información a lo largo de la cadena, incluyendo blockchain, códigos QR, bases de datos, registros digitales y digitalización de procesos.
3	Tecnologías de análisis avanzado	Tecnologías orientadas al procesamiento avanzado de información y a la detección de patrones o anomalías, incluyendo inteligencia artificial, modelos predictivos, sensores, IoT y herramientas avanzadas de análisis de datos.
4	Impacto y aplicación en el sector	Fragmentos en los que los participantes valoran la utilización real, utilidad práctica, grado de implantación o desarrollo, efectos sobre el control, complementariedad con mecanismos existentes o posibilidades de aplicación de las tecnologías en empresas, almazaras, laboratorios, certificación o control oficial.
5	Condiciones e impulsores de adopción	Factores o condiciones que favorecen, facilitan o incentivan la incorporación y utilización de tecnologías antifraude en el sector, incluyendo necesidades de control, exigencias regulatorias o comerciales, facilidad de uso, disponibilidad de información, ventajas operativas u otros impulsores mencionados por los participantes.
6	Barreras y necesidades de implantación	Obstáculos, limitaciones y requisitos pendientes para la implantación efectiva de tecnologías, incluyendo costes, recursos, personal especializado, formación, validación, madurez tecnológica, calidad de los datos, interoperabilidad e infraestructura.

Las tres primeras dimensiones trasladan al análisis empírico el núcleo tecnológico desarrollado en el marco teórico, autenticación y detección, trazabilidad digital y explotación avanzada de datos, mientras que impacto y aplicación, impulsores y barreras recogen las condiciones de uso, transferencia e implantación relevantes para los objetivos de la investigación.

2.4.2. Procedimiento de codificación y contraste

La codificación fue selectiva y se aplicó a las entrevistas completas, dado que los contenidos tecnológicos aparecían de forma transversal y no exclusivamente en las preguntas específicamente dedicadas a tecnología. No se utilizó codificación automática ni asistencia de inteligencia artificial. Un mismo fragmento podía codificarse en más de una dimensión cuando contenía contenidos analíticamente distintos; por ejemplo, una propuesta de integración de registros podía referirse simultáneamente a trazabilidad, análisis avanzado y aplicación práctica del control.

El análisis se orientó a identificar convergencias, divergencias, matices y posiciones singulares dentro de cada dimensión, atendiendo tanto al contenido de los discursos como al perfil y contexto de los participantes. NVivo 15 se utilizó como herramienta de organización, trazabilidad y contraste del material. La interpretación se apoyó en la revisión de los fragmentos codificados y en la selección de verbatim representativos de las posiciones identificadas.

La codificación reunió 800 referencias. Esta cifra no equivale a 800 fragmentos únicos, ya que la multicodificación permite que un mismo pasaje figure en varias dimensiones. Los recuentos se utilizaron con finalidad descriptiva, para mostrar la presencia de contenido en cada dimensión y facilitar la revisión de los fragmentos codificados. No se interpretaron como indicadores de importancia relativa ni como medidas de consenso entre los participantes. La distribución de referencias y entrevistas con contenido en cada dimensión se recoge en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de codificación por dimensiones tecnológicas en NVivo 15

Código	Dimensión	Referencias	Entrevistas con contenido
1	Tecnologías de autenticidad y detección	161	25/25
2	Tecnologías de trazabilidad y digitalización	126	22/25
3	Tecnologías de análisis avanzado	33	9/25
4	Impacto y aplicación en el sector	225	25/25
5	Condiciones e impulsores de adopción	91	23/25
6	Barreras y necesidades de implantación	164	25/25

Una vez cerrada la codificación se utilizaron dos matrices principales: entrevista × dimensión y perfil × dimensión. La primera permitió comprobar la cobertura y localizar concentraciones de contenido; la segunda facilitó observar diferencias de énfasis entre perfiles. La interpretación conjunta de esta matriz y de los fragmentos codificados permitió sintetizar los principales énfasis asociados a cada perfil, posteriormente representados de forma visual en los resultados.

Además, se realizaron consultas léxicas complementarias con distintos ámbitos de análisis. La consulta general sobre prácticas y modalidades de fraude se aplicó al conjunto completo de las 25 entrevistas. Para la exploración del vocabulario tecnológico, la consulta se restringió a las referencias codificadas conjuntamente en las dimensiones 1. Autenticidad y detección, 2. Trazabilidad y digitalización y 3. Análisis avanzado. Por su parte, la consulta sobre barreras y necesidades de implantación se realizó exclusivamente sobre las referencias codificadas en la dimensión 6. Las consultas léxicas tuvieron únicamente una función exploratoria y descriptiva, y sus resultados se interpretaron siempre atendiendo al contexto textual de las entrevistas.

2.4.3. Cautelas de interpretación

Las afirmaciones de los participantes se presentan como percepciones, experiencias profesionales o propuestas. Del mismo modo, una valoración favorable de blockchain, QR, certificaciones, IA u otra herramienta no se convierte en una garantía objetiva de eficacia.

La desigualdad en el número de entrevistas por perfil y las diferencias de profundidad requieren interpretar los recuentos con cautela y únicamente como apoyo descriptivo.

3. Resultados del análisis tecnológico

Los resultados del análisis tecnológico se presentan conforme a las seis dimensiones definidas en NVivo 15. La exposición recoge las soluciones tecnológicas antifraude identificadas en las entrevistas, sus posibilidades de aplicación en el sector, los factores que favorecen su adopción y las barreras o necesidades que condicionan su implantación.

3.1. Contexto empírico: prácticas y modalidades de fraude mencionadas

Antes de abordar específicamente las tecnologías de autenticidad, detección y trazabilidad, resulta útil situar el contexto empírico en el que los participantes formulan sus valoraciones. Las entrevistas muestran que el fraude en los aceites de oliva es percibido como un fenómeno diverso, que puede afectar tanto a las características del producto como a su categoría comercial, origen, etiquetado o documentación asociada. Estas referencias proporcionan el marco desde el que posteriormente se interpretan las necesidades de verificación y las posibilidades atribuidas a las distintas herramientas tecnológicas.

Como apoyo descriptivo se realizó una consulta léxica sobre el conjunto de las entrevistas, aplicando una depuración progresiva de términos sin valor interpretativo. Los resultados se recogen en la Tabla 4 y se representan visualmente en la Figura 1. Estos datos permiten identificar vocabulario recurrente asociado a las prácticas y modalidades de fraude mencionadas por los participantes.

Tabla 4. Términos más frecuentes asociados a las prácticas y modalidades de fraude mencionadas en las entrevistas

Término	Conteo
origen	176
lampante	112
etiqueta	106
etiquetado	75
mezcla	54
refinado	54
girasol	38
orujo	34
engañando	24
límite	24
refinería	24
química	23
intensivo	22
defecto	21
engaño	21
extracción	21
intención	21
territorio	21
volumen	21
defectos	20
desodorización	19

La consulta permite identificar términos recurrentes asociados al origen, la categoría del aceite, el etiquetado y determinadas prácticas de alteración o mezcla, entre ellos origen, lampante, etiqueta, etiquetado, mezcla, refinado, girasol y orujo. Su interpretación debe realizarse atendiendo al contexto de las entrevistas, ya que no todos representan por sí mismos una modalidad de fraude. Algunos identifican productos o categorías implicados en posibles prácticas fraudulentas, mientras que otros remiten a ámbitos especialmente sensibles para su verificación, como el origen o el etiquetado. En conjunto, la visualización refleja que las preocupaciones de los participantes abarcan tanto manipulaciones de la composición o categoría del aceite como irregularidades relacionadas con la información que acompaña al producto.

Las referencias a mezcla, girasol, orujo, refinado y lampante aparecen vinculadas a sustituciones, incorporaciones de aceites de menor valor, reclasificaciones o tratamientos que pueden alterar la correspondencia entre el producto y la categoría bajo la que se comercializa. Paralelamente, las menciones al origen, la etiqueta y el etiquetado

muestran que el discurso de los participantes no se limita a la adulteración físico-química, sino que se extiende también a la veracidad de las declaraciones comerciales y territoriales (Figura 1).

Figura 1. Términos asociados a las prácticas y modalidades de fraude mencionadas en las entrevistas



La desodorización requiere una consideración específica. Su presencia en la consulta léxica se encuentra dispersa entre distintas formas empleadas por los participantes, como desodorización, desodorizado, deodorizado, deodorato y diferentes formas verbales. Para comprobar esta dispersión terminológica se realizó una búsqueda transversal mediante el patrón de comodín de*odor*, que permitió identificar referencias al mismo fenómeno bajo distintas denominaciones. Por ello, el peso visual del término exacto en la nube no refleja por sí solo la presencia conceptual de esta práctica en los discursos.

Esta diversidad de prácticas y ámbitos de riesgo permite comprender por qué las entrevistas no identifican una única solución tecnológica aplicable de forma general. Las dificultades varían según se pretenda comprobar la composición, discriminar categorías, detectar determinados tratamientos, verificar el origen o reconstruir la información asociada al producto. Sobre este contexto empírico se desarrolla, a continuación, el análisis de las tecnologías de autenticidad y detección, trazabilidad y digitalización, análisis avanzado y sus condiciones de aplicación.

3.2. Tecnologías de autenticidad y detección

En relación con las tecnologías de autenticidad y detección, una idea que aparece de forma recurrente en las entrevistas es que no existe una única técnica capaz de responder por sí sola a las distintas formas de alteración o adulteración del aceite. Los participantes combinan en sus discursos el análisis físico-químico, la evaluación sensorial y diferentes técnicas instrumentales, poniendo de manifiesto que cada una aporta

información distinta y que su utilidad depende de aquello que se pretenda verificar. De este modo, más que una tecnología sustitutiva, se plantea la necesidad de complementar métodos y contrastar distintas evidencias para reforzar la capacidad de autenticación.

Entre los problemas señalados destaca la dificultad de detectar determinadas prácticas fraudulentas cuando estas se diseñan teniendo en cuenta los parámetros que posteriormente serán objeto de control. Los participantes ilustran esta dificultad mediante ejemplos como determinadas mezclas, los denominados "aceites de diseño" o algunos tratamientos de desodorización. Estos ejemplos ponen de manifiesto uno de los principales retos asociados a las tecnologías de autenticidad: mejorar su capacidad para identificar manipulaciones que pueden no generar señales suficientemente claras mediante los métodos disponibles.

Otro de los temas que ocupa un lugar destacado en los discursos es la relación entre el análisis físico-químico y la evaluación sensorial. Los participantes señalan que ambos proporcionan información diferente y que el cumplimiento de determinados parámetros físico-químicos no permite, por sí solo, resolver todas las cuestiones relacionadas con la categoría del aceite. Desde esta perspectiva, el panel de cata mantiene una función relevante para identificar atributos y defectos sensoriales que intervienen en la clasificación del producto.

Sin embargo, es precisamente en torno al panel donde aparece una de las divergencias más claras. Una preocupación recurrente en las entrevistas es la existencia de discrepancias en los resultados obtenidos por distintos paneles e incluso, en algunos casos, cuando una misma muestra se evalúa en momentos diferentes. Estas diferencias se relacionan con problemas de reproducibilidad y repetibilidad y adquieren especial relevancia cuando pueden conducir a clasificaciones distintas de un mismo aceite. La preocupación se expresa de manera especialmente directa en afirmaciones como "hay mucha discrepancia entre paneles" (E21-P7).

Esta posición crítica convive, no obstante, con una defensa clara de la utilidad de la evaluación sensorial. Algunos participantes matizan que las discrepancias se concentran especialmente en aceites próximos a la frontera entre categorías y sostienen que el panel ofrece resultados más claros cuando las características sensoriales están bien definidas. Así lo expresa E06-C4 al afirmar que "en los aceites que son extra claros no hay incertidumbre, ninguna en los paneles" (E06-C4). La divergencia no se traduce, por tanto, en dos posiciones simples entre mantener o eliminar el análisis sensorial. Lo que aparece con mayor claridad es una tensión entre su utilidad para la clasificación y las dificultades asociadas a su reproducibilidad en determinados casos.

De esta tensión surge precisamente el interés por tecnologías capaces de complementar y aportar mayor objetivación a la evaluación existente. En las entrevistas aparecen referencias a la nariz electrónica o artificial, el análisis de compuestos volátiles, NIR/MIR, cromatografía, huellas de autenticidad, caracterización varietal y de origen, análisis de ADN y otras estrategias instrumentales. La valoración de estas herramientas no es uniforme: se describen avances y algunas experiencias de aplicación, pero también diferentes grados de desarrollo y capacidad para responder a las necesidades del control.

En el caso de la nariz electrónica, por ejemplo, E14-A3 explica que "se trabaja mucho en lo que siempre se ha denominado nariz electrónica, en tecnologías que consigan complementar a ese panel", reflejando una orientación hacia el apoyo instrumental más que hacia la sustitución inmediata de la evaluación sensorial.

En conjunto, las entrevistas apuntan hacia una autenticación basada en la complementariedad de métodos y en la incorporación progresiva de nuevas capacidades analíticas. La tecnología aparece como una vía para ampliar las posibilidades de detección, aportar información adicional y reforzar procedimientos ya existentes, pero su utilidad depende de que sea capaz de identificar señales relevantes para la práctica que se pretende verificar. Como sintetiza E03-C1, "Desde el momento en que las tecnologías son capaces de detectar algún parámetro que no es conforme, ya van obligando a que todo el mundo lo vaya verificando" (E03-C1). Así, los resultados muestran una orientación hacia estrategias de autenticación que combinan diferentes fuentes de información y en las que las nuevas herramientas amplían y complementan las capacidades de los procedimientos existentes.

3.3. Tecnologías de trazabilidad y digitalización

La trazabilidad aparece en las entrevistas como una de las principales herramientas para reforzar el seguimiento del aceite a lo largo de la cadena. Sin embargo, los discursos van más allá de la mera existencia de registros: de forma recurrente, los participantes vinculan su utilidad con la posibilidad de reconstruir el recorrido del producto, relacionar la información disponible y comprobar la coherencia entre lo declarado y los movimientos realizados. La trazabilidad adquiere así un sentido más amplio que el estrictamente documental, al plantearse como una herramienta que puede facilitar la verificación y el control.

Esta idea se aprecia especialmente en las referencias a REMOA y SIMO, que aparecen en distintos perfiles como sistemas con potencial para reconstruir los movimientos de los aceites a granel. Las propuestas planteadas en las entrevistas coinciden en la conveniencia de completar y conectar la información disponible, aunque ponen el acento en aspectos diferentes: origen y destino de la mercancía, categoría, contratos, precios, volúmenes o confirmación de la recepción. En conjunto, estas aportaciones apuntan hacia la necesidad de "cerrar" el circuito de información para que un movimiento no quede únicamente registrado en su salida, sino que pueda seguirse y contrastarse a lo largo del proceso.

Esta necesidad se observa con especial claridad al explicar el funcionamiento de REMOA. Uno de los problemas señalados era que el sistema permitía registrar la salida de una cisterna y generar su documento de acompañamiento, pero no incorporaba inicialmente la confirmación posterior del receptor. La modificación descrita por E22-A6 responde precisamente a esta limitación: "Ahora, el receptor de la cisterna tiene que subir a la plataforma, su conformidad de que, efectivamente, eso se ha recibido y responde al documento de acompañamiento" (E22-A6). Para el participante, completar el circuito forma parte de una lógica más amplia de control, porque "si queremos presumir de un producto que es excelente, tenemos que demostrarlo en todo momento" (E22-A6).

En la misma dirección, otras entrevistas plantean aprovechar estos sistemas para incorporar y relacionar información que ya se genera en las operaciones comerciales. La propuesta no consiste únicamente en aumentar la documentación, sino en hacerla accesible y utilizable. E19-P5 explica, por ejemplo, la posibilidad de incorporar telemáticamente el contrato y el precio junto con la categoría del aceite, de manera que la información pueda organizarse y consultarse posteriormente. Desde esta perspectiva, incluso una mayor exigencia informativa puede entenderse como una garantía cuando permite reconstruir la operación: "para nosotros no es nada, este es el contrato, virgen extra, precio tanto, y meterlo. ¿Por qué? Porque es nuestra garantía" (E19-P5).

Junto a estas posibilidades, las entrevistas introducen un matiz relevante: disponer de una trazabilidad digital no garantiza por sí mismo la veracidad de la información registrada. Esta cautela aparece al hablar de blockchain, códigos QR y otros sistemas capaces de almacenar o transmitir información. Aunque se reconoce su utilidad para reforzar la continuidad y disponibilidad del registro, los discursos señalan que su capacidad como garantía depende también de la calidad y veracidad de los datos incorporados y de la posibilidad de contrastarlos.

Esta preocupación conecta con una formulación que aparece desde otra perspectiva en las entrevistas: la necesidad de que la trazabilidad sea "demostrable y controlada". E24-A8 considera que "la trazabilidad demostrable y controlada es una buena herramienta" (E24-A8), vinculándola precisamente con la posibilidad de demostrar que el producto ofrecido se corresponde con aquello que se declara. De este modo, los discursos desplazan el interés desde la mera acumulación de información hacia su verificabilidad.

En algunas entrevistas esta concepción se amplía hacia una trazabilidad más detallada del proceso, capaz de acompañar al producto desde etapas tempranas hasta su comercialización. Se describen registros relacionados con el cultivo, la recolección, la molturación, los depósitos, el envasado y la salida al mercado, así como el uso de sensores, blockchain o códigos QR para conservar o trasladar parte de esa información. E01-P1 resume esta orientación al defender la necesidad de "crear sistemas de trazabilidad real" y plantea su integración con blockchain para mantener la cadena de información (E01-P1). Estas propuestas muestran una concepción de la digitalización que no se limita al producto terminado, sino que busca mantener la continuidad de la información durante el proceso.

En conjunto, los resultados muestran que la valoración positiva de la trazabilidad está acompañada de una condición recurrente: la información registrada debe poder seguirse, relacionarse y comprobarse. REMOA, SIMO, blockchain, QR y otros sistemas digitales amplían las posibilidades de documentar la cadena, pero los participantes sitúan su mayor potencial en la capacidad de transformar esos registros en información útil para la verificación. En este sentido, registrar no equivale a verificar: la trazabilidad adquiere mayor capacidad como herramienta de control cuando el circuito informativo se completa y la información registrada puede contrastarse.

3.4. Tecnologías de análisis avanzado

El análisis avanzado de datos aparece de forma más específica que otras tecnologías abordadas en las entrevistas, pero los participantes que profundizan en esta posibilidad plantean aplicaciones concretas para la prevención y detección del fraude. Una de las ideas que converge con mayor claridad en estos discursos es la posibilidad de aprovechar conjuntamente información que ya se genera en diferentes puntos de la cadena para identificar situaciones que requieren una comprobación más detallada. La inteligencia artificial, los modelos predictivos y otras herramientas de tratamiento de datos se plantean como instrumentos de apoyo capaces de encontrar relaciones o anomalías que resultarían más difíciles de detectar mediante la revisión aislada de la información.

Una de las aplicaciones más desarrolladas consiste en relacionar datos sobre movimientos, categorías, contratos, precios o volúmenes para orientar los recursos de control hacia operaciones que presentan señales atípicas. Esta propuesta conecta directamente con los sistemas de trazabilidad analizados en el apartado anterior, pero introduce un paso adicional: no se trata únicamente de disponer de la información, sino de explotarla para seleccionar dónde resulta más necesario comprobar. E19-P5 lo explica a partir de las diferencias de precios entre operaciones de una misma categoría y plantea que, una vez descartadas aquellas que tienen una explicación razonable, determinadas desviaciones pueden servir para focalizar la atención: "yo aquí marco en rojo y al marcar en rojo, yo ya sé dónde dirigir los pocos recursos que tengo para controlar" (E19-P5).

Esta forma de utilizar los datos introduce un matiz importante en la interpretación de las anomalías. Una diferencia de precio, volumen, origen o movimiento no constituye por sí misma una prueba de fraude, ya que puede responder a circunstancias comerciales o productivas justificadas. Su utilidad reside en actuar como una señal que permite seleccionar operaciones para una comprobación posterior. El propio ejemplo anterior contempla explicaciones legítimas para determinados precios antes de plantear la necesidad de investigar aquellos casos cuya diferencia no encuentra una justificación aparente. El análisis avanzado se configura, por tanto, como una herramienta para priorizar el control, no para sustituir la verificación administrativa o analítica.

Otra línea de aplicación se dirige hacia la explotación conjunta de resultados analíticos y señales instrumentales. En este ámbito se plantea utilizar inteligencia artificial, tratamiento de datos o redes para localizar correlaciones entre las características conocidas de un aceite y las respuestas obtenidas mediante distintas tecnologías analíticas. E21-P7 resume esta propuesta al plantear: "vamos a poner a trabajar la inteligencia artificial, vamos a poner a trabajar el tratamiento de datos, las redes, para ver si encuentran correlaciones en algunos parámetros" (E21-P7). Esta posibilidad conecta con las tecnologías abordadas en el apartado de autenticidad y detección, al utilizar el análisis de datos como apoyo para interpretar señales y complementar los métodos disponibles.

Las entrevistas también introducen, sin embargo, límites a las posibilidades de automatización. Uno de los principales problemas señalados es la elevada variabilidad natural de los aceites, que dificulta construir perfiles de referencia suficientemente

robustos. El desarrollo de modelos predictivos exige disponer de bases de datos amplias y capaces de representar adecuadamente esa diversidad. E22-A6 lo expresa al señalar que "la variabilidad que tenemos de las características de los aceites es enorme" (E22-A6), y advierte de la dificultad de considerar no genuino un aceite únicamente porque no se ajuste al perfil predominante en una base de datos. La capacidad de los modelos depende así no solo de la técnica utilizada, sino también de la amplitud y calidad de la información con la que se construyen.

Desde otra perspectiva, también aparece la posibilidad de cruzar información procedente de distintas administraciones y fuentes de control para mejorar la identificación de riesgos. Se plantea que una mayor coordinación y disponibilidad de datos permitiría trabajar con información de mejor calidad y orientar las comprobaciones hacia situaciones que presentan señales de riesgo. Como señala E24-A8, resulta necesario disponer de mecanismos "que se pueda tratar de cruzar información y detectar posibles riesgos" y que permitan trabajar con "más información e información de la mejor calidad" (E24-A8). Esta visión amplía el análisis avanzado más allá de una herramienta concreta de inteligencia artificial y lo sitúa dentro de una lógica más general de control apoyado en datos.

En conjunto, las entrevistas que desarrollan esta dimensión muestran un desplazamiento desde la mera disponibilidad de información hacia su explotación para identificar patrones, detectar anomalías y orientar las comprobaciones. La inteligencia artificial, los modelos predictivos y el cruce de datos aparecen como herramientas de apoyo que pueden facilitar esta tarea, pero los propios discursos introducen condiciones relevantes: disponer de información estructurada y de calidad, contar con bases de datos suficientemente representativas y mantener una comprobación posterior de las señales detectadas. El potencial del análisis avanzado reside así en ayudar a decidir dónde mirar con mayor atención, más que en convertir automáticamente una anomalía en evidencia de fraude.

3.5. Impacto y aplicación en el sector

Las entrevistas muestran que la utilidad atribuida a las tecnologías antifraude depende, en gran medida, de cómo se incorporan a los procedimientos de control. Más allá de disponer de nuevas herramientas analíticas o sistemas digitales, aparece de forma recurrente la necesidad de integrarlos con la trazabilidad, los registros y las comprobaciones realizadas a lo largo del proceso. Desde esta perspectiva, la tecnología adquiere mayor capacidad de prevención y verificación cuando forma parte de un sistema de control más amplio y no se utiliza únicamente para comprobar las características del producto terminado.

Esta idea se refleja especialmente en las propuestas que plantean ampliar el control desde el producto final hacia el propio proceso. En las entrevistas se mencionan la revisión de los sistemas informáticos, la trazabilidad, las compras y ventas o los balances de masa como fuentes de información que permiten comprobar la coherencia entre las operaciones realizadas y el producto finalmente comercializado. E21-P7 expresa esta posición de forma especialmente clara al señalar que "nosotros estamos mucho más

interesados en el control del proceso que en el control del producto" (E21-P7). Su propuesta no prescinde del análisis del producto final, sino que plantea incorporarlo después de comprobar también la información generada durante el proceso.

Esta orientación hacia el proceso aparece asimismo vinculada a la certificación. Los discursos apuntan a que la garantía puede reforzarse cuando la comprobación no se limita a las características finales del aceite, sino que incorpora también evidencias sobre cómo se ha producido, movido y controlado. En este sentido, se plantea una combinación entre certificación de proceso y de producto, junto con auditorías y sistemas de trazabilidad que permitan reconstruir las distintas etapas. El resultado es una concepción de la tecnología como soporte de una verificación más continua, en la que producto y proceso aportan evidencias complementarias.

La aplicación de estos mecanismos no se limita al control oficial. Otro patrón que aparece en las entrevistas es la existencia de una segunda capa de control vinculada a las propias empresas, certificaciones y grandes compradores. Se mencionan sistemas de autocontrol, estándares como BRC o IFS, auditorías externas y especificaciones comerciales que incorporan requisitos de trazabilidad, calidad y análisis. En particular, las exigencias de la gran distribución pueden añadir comprobaciones a las establecidas reglamentariamente, impulsadas también por la necesidad de reducir riesgos asociados a los productos comercializados. E20-P6 vincula esta exigencia con las consecuencias que tendría para una gran cadena comercializar un producto fraudulento y señala que "ese coste reputacional no tiene valor" (E20-P6).

La valoración de estas herramientas cambia cuando se analiza su traslado al consumidor. En este punto no aparece una posición homogénea. Algunas entrevistas consideran que la trazabilidad, las certificaciones o las garantías adicionales pueden aportar valor, especialmente en productos diferenciados o segmentos premium. Otras, en cambio, cuestionan que el consumidor necesite conocer la tecnología utilizada para garantizar el producto y sitúan la responsabilidad del control en los operadores, la distribución y las administraciones. Esta segunda posición queda claramente expresada por E20-P6: "el consumidor no tiene por qué valorar la aplicación de nuevas tecnologías al producto", porque la garantía de calidad corresponde a los actores responsables de producirlo, comercializarlo y controlarlo (E20-P6).

La utilidad sectorial de una tecnología no se traduce, por tanto, automáticamente en un atributo que deba ser conocido o valorado directamente por el consumidor.

También aparecen aplicaciones condicionadas por el contexto comercial. En exportación, por ejemplo, se describen procedimientos de verificación analítica realizados antes del envío y documentación reconocida en el mercado de destino como mecanismos orientados a reducir problemas posteriores de clasificación. Este tipo de experiencias muestra que una misma herramienta puede adquirir funciones diferentes según el ámbito en el que se aplique: apoyar el control interno, acreditar determinadas características ante compradores o facilitar la seguridad de las operaciones comerciales.

En conjunto, las entrevistas muestran que el impacto de las tecnologías antifraude depende menos de su utilización aislada que de su integración en los sistemas de control

y en las prácticas de los distintos actores de la cadena. Su aplicación puede reforzar la verificación del proceso, complementar el análisis del producto final, estructurar sistemas de autocontrol y certificación o responder a exigencias comerciales específicas. Al mismo tiempo, los discursos muestran que su valor técnico y su valor percibido no son necesariamente equivalentes: una herramienta puede resultar útil para garantizar el producto sin que el consumidor necesite conocer directamente la tecnología empleada.

3.6. Condiciones e impulsores de adopción

Las entrevistas muestran que la incorporación de tecnologías antifraude no depende únicamente de que exista una herramienta técnicamente disponible. Su adopción aparece vinculada a un conjunto de condiciones externas e internas que generan la necesidad o el incentivo para incorporarla, entre las que destacan las exigencias regulatorias, las demandas comerciales y reputacionales, el desarrollo de proyectos de investigación y colaboración y la progresiva accesibilidad de determinadas tecnologías.

Uno de los impulsores que aparece de forma recurrente es la regulación. Las obligaciones relacionadas con la trazabilidad, la documentación y el control pueden favorecer la incorporación de sistemas digitales, mientras que los avances en la capacidad analítica generan la expectativa de que los métodos oficialmente reconocidos evolucionen a medida que resulta posible verificar nuevos parámetros. En este sentido, las entrevistas muestran una relación estrecha entre innovación y marco regulatorio: la disponibilidad de una tecnología adquiere mayor capacidad de aplicación cuando sus resultados pueden incorporarse efectivamente a los procedimientos de control. Esta necesidad queda reflejada en la intervención de E18-A5, quien plantea la conveniencia de que las metodologías oficiales de control de calidad evolucionen a medida que existen nuevas posibilidades analíticas y señala, respecto a los métodos disponibles, que “se vayan aplicando porque las hay” (E18-A5).

Junto a la regulación, las exigencias comerciales y el riesgo reputacional actúan como otro incentivo para reforzar los sistemas de control y adoptar herramientas que permitan ofrecer mayores garantías. Los discursos muestran que determinados compradores, grandes cadenas de distribución y mercados internacionales pueden exigir estándares, certificaciones o comprobaciones adicionales a las estrictamente reglamentarias. De este modo, algunas herramientas inicialmente voluntarias pueden adquirir en la práctica un peso considerable para acceder a determinados canales comerciales. E20-P6 explica esta presión desde la gran distribución al señalar que las cadenas "también tienen sus niveles de control", motivados, entre otras razones, por las consecuencias que tendría para ellas verse vinculadas a un caso de fraude (E20-P6).

La importancia de la reputación se aprecia también desde la propia empresa. En algunos discursos, la inversión en trazabilidad y análisis se vincula a la necesidad de proteger una marca cuya credibilidad puede resultar difícil de recuperar si se ve cuestionada. E08-P3 lo expresa de manera especialmente clara al referirse al "riesgo reputacional" como un riesgo difícil de cuantificar y explicar que, aun disponiendo de trazabilidad sobre sus propios aceites, realizan análisis amplios antes de comercializarlos (E08-P3).

La adopción tecnológica aparece así no solo como respuesta al cumplimiento, sino también como una forma de reducir la exposición a riesgos comerciales y preservar la confianza asociada al producto.

Otro impulsor presente en las entrevistas es la investigación y la colaboración entre empresas, universidades, centros tecnológicos, asociaciones y otras entidades. Parte de las tecnologías mencionadas en los apartados anteriores, como las huellas de autenticidad, la caracterización de aceites, la nariz electrónica o el análisis de compuestos volátiles, se encuentran vinculadas a proyectos de investigación y desarrollo en los que participan distintos actores. Estas experiencias muestran que la adopción no siempre comienza con la adquisición directa de una tecnología madura, sino que puede desarrollarse progresivamente a través de proyectos piloto, validación y cooperación orientada a resolver necesidades concretas de autenticación y control.

Finalmente, las entrevistas señalan que la reducción de costes y la progresiva disponibilidad de las herramientas pueden ampliar las posibilidades de adopción. Tecnologías que inicialmente requieren inversiones elevadas o conocimientos especializados pueden hacerse más accesibles a medida que maduran, disminuye su coste y se extiende su utilización. Esta evolución resulta especialmente relevante en un sector formado por organizaciones de tamaños y capacidades muy diferentes, ya que puede facilitar que herramientas inicialmente concentradas en operadores con mayores recursos alcancen posteriormente a un conjunto más amplio de empresas.

En conjunto, los discursos muestran que la adopción tecnológica se produce cuando la capacidad técnica encuentra condiciones que favorecen su utilización efectiva. La regulación puede convertir nuevas posibilidades de verificación en exigencias de control; compradores y mercados pueden incentivar garantías adicionales; la reputación puede justificar inversiones preventivas; la investigación y la colaboración facilitan el desarrollo y validación de nuevas soluciones; y la reducción de costes puede ampliar progresivamente su acceso. La implantación de tecnologías antifraude aparece, así como el resultado de la interacción entre desarrollo tecnológico y condiciones regulatorias, comerciales, organizativas y científicas que favorecen su incorporación al sector.

3.7. Barreras y necesidades de implantación

Las entrevistas muestran que las dificultades para incorporar tecnologías antifraude no se reducen al coste o a la disponibilidad de equipos. Los participantes plantean obstáculos de distinta naturaleza que afectan tanto al desarrollo de las herramientas como a su utilización efectiva: limitaciones técnicas de los métodos, reconocimiento regulatorio, recursos y capacidades de las organizaciones, integración y calidad de la información y necesidades de conocimiento y formación.

Una primera barrera se relaciona con las propias capacidades técnicas de las herramientas disponibles. A lo largo de las entrevistas aparecen dificultades para detectar determinadas alteraciones, ausencia de marcadores suficientemente discriminantes, variabilidad natural del aceite y problemas de reproducibilidad asociados a algunos procedimientos. Estas limitaciones explican que una tecnología pueda resultar

prometedora sin ofrecer todavía la fiabilidad necesaria para incorporarse de manera generalizada al control. La necesidad que emerge de estos discursos se dirige, por tanto, hacia el desarrollo y validación de métodos suficientemente sensibles, reproducibles y adecuados al problema concreto que se pretende verificar.

Junto a esta limitación aparece una segunda barrera claramente diferenciada: que una tecnología sea capaz de proporcionar información útil no implica necesariamente que pueda utilizarse como método oficial de control. Los participantes señalan la necesidad de que los avances analíticos vayan acompañados de validación y reconocimiento para que sus resultados puedan adquirir una aplicación efectiva. E18-A5 lo explica al referirse a métodos analíticos disponibles, pero todavía no autorizados: "aunque existan las tecnologías y no están [...] autorizados, pues no se pueden utilizar" (E18-A5). Esta distancia entre capacidad técnica y reconocimiento regulatorio convierte la validación y actualización de los métodos oficiales en una condición relevante para la transferencia de la innovación al control.

Las diferencias de recursos y capacidad organizativa constituyen otro obstáculo recurrente. Las entrevistas reflejan un sector heterogéneo, en el que la posibilidad de incorporar determinadas tecnologías varía según el tamaño de la organización, su grado de digitalización, la disponibilidad de personal especializado y la inversión requerida. Esta desigualdad se observa especialmente en herramientas que necesitan infraestructura y conocimiento técnico específico. Al referirse a la nariz electrónica, E14-A3 señala que "No es una tecnología al alcance de cualquiera, requiere tener un laboratorio, requiere un entrenamiento" (E14-A3). La existencia de una solución tecnológica no supone, por tanto, que todos los operadores se encuentren en las mismas condiciones para adoptarla.

El coste aparece dentro de esta dimensión, pero no de manera aislada. Las inversiones necesarias se combinan con carga de trabajo, necesidades de personal y capacidad para integrar nuevas herramientas en las rutinas existentes. Algunas propuestas de mayor seguimiento o certificación, por ejemplo, son valoradas positivamente al mismo tiempo que se reconoce el esfuerzo operativo que exigirían. E10-P4, al plantear un control más detallado de depósitos y trazabilidad, advierte que "Eso a lo mejor es una carga de trabajo muy grande" (E10-P4). Más que un rechazo a incrementar el control, esta valoración muestra que la viabilidad de las propuestas depende también de los recursos necesarios para mantenerlas en funcionamiento.

Otro grupo de barreras se sitúa en la gestión e integración de la información. En distintas entrevistas reaparece el problema de registros y bases de datos que contienen información potencialmente útil pero que no siempre están conectados entre sí. A ello se añaden cuestiones relacionadas con la interoperabilidad, las posibilidades legales de utilización de determinados datos, su calidad y la coordinación entre organismos. Esta preocupación conecta con los resultados anteriores sobre trazabilidad y análisis avanzado: disponer de información constituye solo una parte del proceso si posteriormente existen dificultades para compartirla, relacionarla o utilizarla en las tareas de control.

Finalmente, las entrevistas introducen una dimensión humana y formativa. La implantación tecnológica requiere conocimientos para utilizar las herramientas, interpretar sus resultados y adaptarlas a los procedimientos de cada organización. También aparecen diferencias en el conocimiento de la normativa y en la familiaridad con determinadas soluciones, junto con posibles resistencias asociadas a cambios en formas de trabajo ya consolidadas. Estas aportaciones sitúan la formación y el desarrollo de capacidades como elementos necesarios para que la incorporación tecnológica no se limite a disponer de una herramienta, sino que pueda traducirse en un uso efectivo.

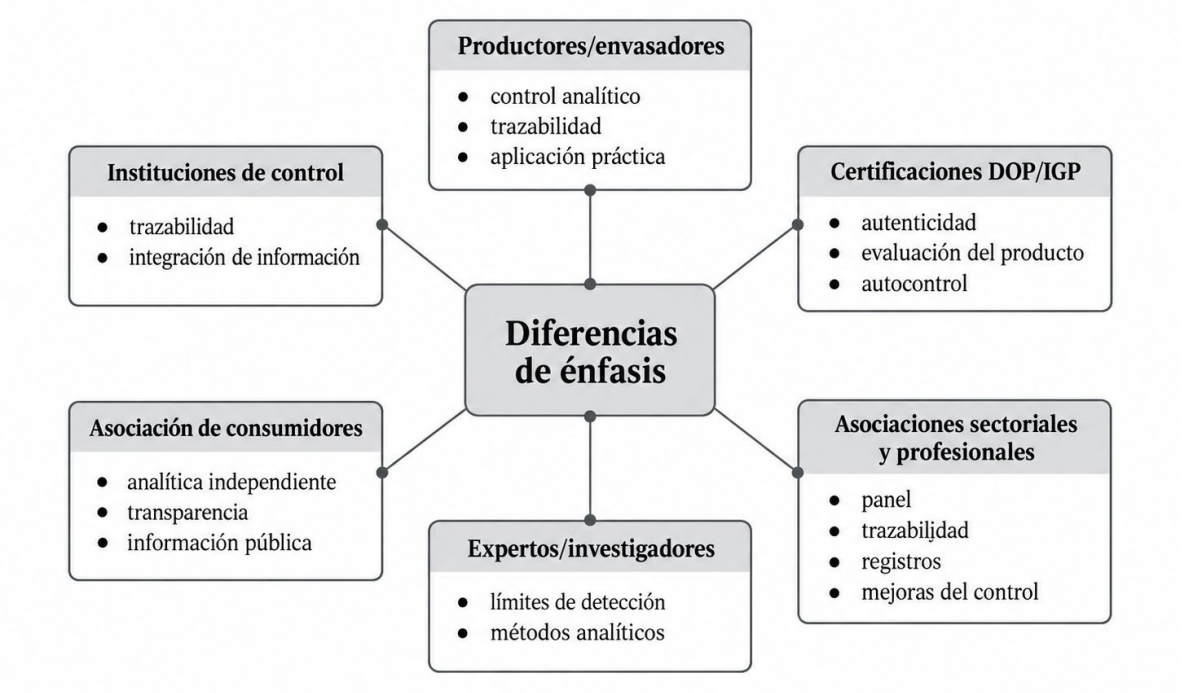
En conjunto, los resultados muestran que la disponibilidad tecnológica constituye solo una de las condiciones necesarias para su implantación. La adopción efectiva requiere métodos suficientemente validados, reconocimiento para su utilización en el control, recursos y capacidades organizativas, información de calidad que pueda integrarse y compartirse y personal preparado para utilizar e interpretar las herramientas. Las barreras identificadas se encuentran, además, interrelacionadas: una tecnología técnicamente prometedora puede encontrar dificultades de aplicación si no está reconocida, si exige recursos fuera del alcance de determinados operadores o si depende de información que no puede integrarse adecuadamente en los sistemas existentes.

3.8. Síntesis tecnológica y diferencias de énfasis

Este apartado integra los principales resultados de las seis dimensiones analizadas y sintetiza las diferencias de énfasis observadas entre los perfiles participantes. Las técnicas analíticas, la evaluación sensorial, la trazabilidad digital, los registros administrativos y empresariales, la explotación de datos, la certificación y la inspección cubren funciones diferentes y ganan utilidad cuando pueden complementarse.

Las matrices entrevista × dimensión y perfil × dimensión complementan esta interpretación y facilitan la observación descriptiva de cómo se distribuyen los contenidos tecnológicos entre participantes y perfiles (Anexos A y B). La comparación muestra diferencias de énfasis coherentes con la posición de los actores en el sector: los discursos de productores/envasadores y asociaciones desarrollan especialmente cuestiones relacionadas con la aplicación práctica del control y la trazabilidad; las entidades de certificación profundizan en autenticidad, evaluación del producto y autocontrol; los expertos aportan principalmente una perspectiva analítica; la representación de consumidores pone mayor énfasis en las garantías y la credibilidad del control; y las instituciones desarrollan especialmente las posibilidades de trazabilidad e integración de información. Estas diferencias se representan de forma descriptiva en la Figura 2.

Figura 2. Diferencias de énfasis por perfil en el análisis tecnológico



Nota. La figura sintetiza los principales énfasis identificados en los discursos de los distintos perfiles a partir de la lectura cualitativa de la matriz perfil × dimensión y de los fragmentos codificados

En conjunto, estas diferencias reflejan distintos énfasis vinculados a la posición y experiencia de los participantes dentro del sector.

En relación con el conocimiento y la aceptación de estas herramientas, las entrevistas muestran diferentes grados de familiaridad vinculados al ámbito de especialización y a la experiencia de los participantes. Las valoraciones dependen, además, de las características de cada solución y de las condiciones necesarias para su aplicación. La utilidad percibida, la posibilidad de verificación y su integración en los procedimientos existentes favorecen una valoración positiva, mientras que aspectos como el coste, la validación, el reconocimiento oficial, la fiabilidad de los datos, la interoperabilidad o las capacidades técnicas condicionan su adopción.

Por otra parte, para describir el vocabulario asociado específicamente a las tecnologías antifraude, se realizó una consulta de frecuencia de palabras sobre las referencias codificadas en las dimensiones 1. Autenticidad y detección, 2. Trazabilidad y digitalización y 3. Análisis avanzado. El resultado de esta consulta se presenta en la Figura 3.

Figura 3. Términos más frecuentes asociados a las tecnologías de autenticidad, trazabilidad y análisis avanzado



La nube resultante refleja la presencia recurrente de términos relacionados con las principales dimensiones tecnológicas abordadas en las entrevistas, entre ellos trazabilidad, control, análisis, tecnología, datos, calidad, información, laboratorio, certificación o digitalización. Su lectura complementa descriptivamente los resultados desarrollados en los apartados anteriores y permite visualizar el vocabulario empleado por los participantes al referirse a la aplicación de tecnologías para la prevención y detección del fraude.

A continuación, se examinó específicamente el vocabulario contenido en las referencias codificadas en la dimensión 6. Barreras y necesidades de implantación. Esta consulta permite visualizar los términos asociados a las dificultades técnicas, regulatorias, organizativas, informacionales y humanas señaladas por los participantes en relación con la implantación de las herramientas tecnológicas. El resultado de esta consulta se presenta en la Figura 4.

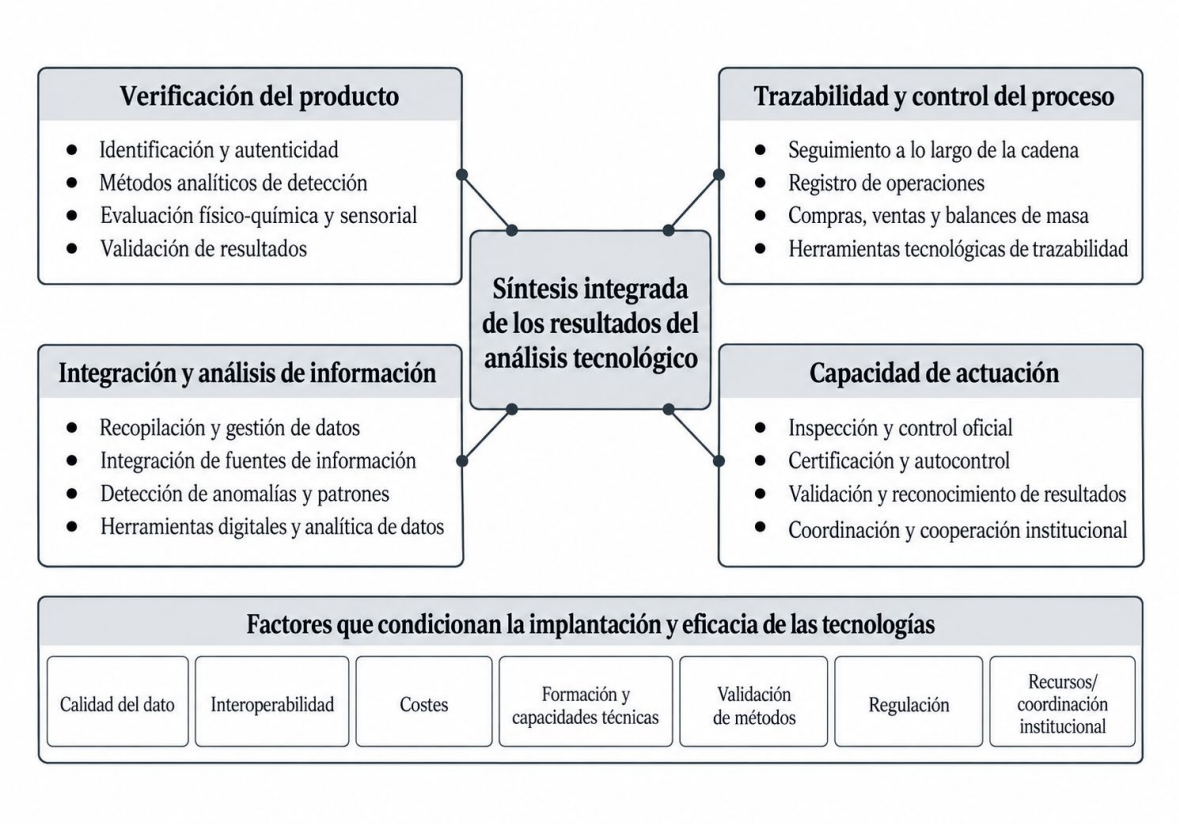
Figura 4. Términos más frecuentes asociados a las barreras y necesidades de implantación tecnológica



La nube de barreras refleja la presencia recurrente de términos relacionados con análisis, panel, cata, trazabilidad, parámetros, laboratorio, métodos, normativa, información y datos. En el contexto de las referencias codificadas, términos como desodorización, volátiles, esteroles o nariz electrónica aparecen asociados a dificultades técnicas relacionadas con la capacidad de detección. En paralelo, la presencia de términos como administración, contratos y sistemas es coherente con la existencia de barreras que no son exclusivamente analíticas, sino también regulatorias, organizativas e informacionales.

En términos aplicados, los resultados permiten sintetizar el control antifraude tecnológico en cuatro componentes complementarios: verificación del producto, trazabilidad y control del proceso, integración y análisis de información y capacidad de actuación. Su funcionamiento y eficacia dependen, además, de diversos factores que condicionan la implantación de las tecnologías, entre ellos la calidad del dato, la interoperabilidad, los costes, la formación y las capacidades técnicas, la validación de métodos, la regulación y la disponibilidad de recursos y coordinación institucional. En este marco, la innovación aporta valor cuando permite generar información verificable, conectar fuentes antes separadas y facilitar una actuación de control más oportuna y dirigida. Esta síntesis se representa en la Figura 5.

Figura 5. Síntesis integrada de los resultados del análisis tecnológico



En conjunto, los resultados muestran que las seis dimensiones analizadas se encuentran estrechamente relacionadas. Las mejoras en autenticidad y detección requieren métodos capaces de aportar evidencias complementarias; la trazabilidad adquiere mayor utilidad cuando la información puede verificarse y utilizarse; el análisis avanzado amplía las posibilidades de identificar señales que orienten el control; y la aplicación efectiva de estas herramientas depende de su integración en los procesos, de los incentivos para adoptarlas y de la superación de barreras técnicas, regulatorias, organizativas y relacionadas con los datos. La tecnología aparece así no como una solución antifraude independiente, sino como parte de un sistema de verificación en el que métodos analíticos, información, trazabilidad y procedimientos de control desempeñan funciones complementarias.

Como cierre del análisis cualitativo, la Tabla 5 recoge una selección de verbatim vinculados a las seis dimensiones analizadas. Su finalidad es sintetizar, de forma ilustrativa, cómo los principales hallazgos interpretativos desarrollados en los apartados 3.2–3.7 se apoyan en el discurso de los participantes. Las citas seleccionadas permiten mostrar de manera directa las posiciones y matices que sustentan la interpretación realizada.

Tabla 5. Verbatim representativos de los principales hallazgos del análisis tecnológico

Dimensión	Hallazgo cualitativo	Verbatim	Participante
Tecnologías de autenticidad y detección	Complemento instrumental al panel de cata	"se trabaja mucho en lo que siempre se ha denominado nariz electrónica, en tecnologías que consigan complementar a ese panel"	E14-A3
Tecnologías de trazabilidad y digitalización	Trazabilidad verificable	"la trazabilidad demostrable y controlada es una buena herramienta"	E24-A8
Tecnologías de análisis avanzado	Uso de datos para orientar el control	"yo aquí marco en rojo y al marcar en rojo, yo ya sé dónde dirigir los pocos recursos que tengo para controlar"	E19-P5
Impacto y aplicación en el sector	Control del proceso	"nosotros estamos mucho más interesados en el control del proceso que en el control del producto"	E21-P7
Condiciones e impulsores de adopción	Riesgo reputacional como impulsor	"ese coste reputacional no tiene valor"	E20-P6
Barreras y necesidades de implantación	Recursos y capacidades técnicas	"No es una tecnología al alcance de cualquiera, requiere tener un laboratorio, requiere un entrenamiento"	E14-A3

4. Conclusiones e implicaciones del análisis tecnológico

Las conclusiones que se presentan a continuación derivan del análisis cualitativo realizado en NVivo 15 sobre las 25 entrevistas y se centran en el objetivo tecnológico del presente estudio. A partir de los resultados obtenidos, se sintetizan los principales hallazgos y sus implicaciones para la prevención, detección y control del fraude en el sector del aceite de oliva.

4.1. Principales conclusiones

Los resultados muestran que las medidas antifraude de carácter tecnológico desempeñan funciones distintas y complementarias. Unas permiten obtener evidencias sobre las características del producto, otras reconstruir su recorrido y el proceso seguido, y otras explotar la información disponible para identificar situaciones que requieren una comprobación más detallada. Su utilidad depende, por tanto, tanto del problema que se pretende abordar como de su integración con otros mecanismos de verificación y control.

En el ámbito de la autenticidad y la detección, los discursos muestran la necesidad de mejorar la capacidad para discriminar prácticas complejas sin depender de un único parámetro o procedimiento. La combinación del análisis físico-químico, la evaluación sensorial y nuevas técnicas instrumentales se configura como una vía para obtener evidencias complementarias, aunque persisten limitaciones técnicas y necesidades de validación que condicionan la incorporación de algunas soluciones.

En materia de trazabilidad, uno de los principales resultados es que registrar no equivale a verificar. Los sistemas digitales pueden mejorar la continuidad, disponibilidad y conexión de la información, pero su capacidad como herramienta de control depende de

la calidad y veracidad de los datos incorporados, de que el circuito informativo pueda completarse y de que la información pueda contrastarse con el producto, los movimientos realizados u otras fuentes. Desde esta perspectiva, el valor de la digitalización reside especialmente en avanzar hacia una trazabilidad verificable y efectivamente utilizable para el control.

El análisis avanzado introduce una posibilidad adicional: transformar movimientos, contratos, categorías, precios, resultados analíticos y otras variables en señales que permitan orientar las comprobaciones. Las anomalías identificadas mediante el cruce y tratamiento de datos no constituyen por sí mismas evidencias de fraude, pero pueden contribuir a priorizar inspecciones y dirigir recursos de control hacia operaciones que requieren una revisión más detallada. Su principal utilidad se sitúa, por tanto, en el apoyo a la decisión y al control basado en riesgo.

De forma transversal, los resultados apuntan además hacia una concepción del control que no se limita a comprobar el producto final, sino que incorpora información generada durante el proceso. La trazabilidad, los registros de compras y ventas, los movimientos, los balances de masa, los sistemas de autocontrol y la certificación pueden aportar evidencias complementarias a las obtenidas mediante el análisis del aceite. La tecnología adquiere así mayor utilidad cuando permite relacionar producto, proceso e información y facilita una verificación más continua a lo largo de la cadena.

La adopción efectiva de estas herramientas depende, sin embargo, de las condiciones en las que deben utilizarse. La regulación y el reconocimiento de los métodos, las exigencias comerciales y reputacionales, la colaboración en investigación y la progresiva accesibilidad tecnológica pueden favorecer su incorporación, mientras que las limitaciones técnicas, los costes, las capacidades organizativas y formativas, la interoperabilidad y la calidad de los datos pueden restringirla. La disponibilidad de una solución tecnológica no implica, por sí sola, su aplicabilidad efectiva en el sector.

En conjunto, los resultados permiten concluir que la sofisticación tecnológica no constituye por sí misma el principal criterio de utilidad antifraude. Las herramientas adquieren valor cuando generan información interpretable y verificable, pueden integrarse en los procedimientos existentes y contribuyen a mejorar la capacidad de actuación. Más que una solución tecnológica única, los discursos apuntan hacia un sistema de control en el que verificación del producto, trazabilidad y control del proceso, integración y análisis de información y capacidad de actuación cumplen funciones complementarias.

Estas conclusiones son coherentes con la literatura revisada, que ya señala la necesidad de combinar técnicas y fuentes de información para la autenticación del aceite de oliva y advierte que la trazabilidad digital no constituye por sí sola una garantía absoluta de autenticidad (González-Pereira et al., 2021; Yan et al., 2020; Violino et al., 2020). La aportación del presente estudio reside en mostrar, desde la perspectiva de los actores vinculados al sector, cómo se concretan estas complementariedades en el control del fraude, qué funciones se atribuyen a las distintas herramientas y qué condiciones favorecen o limitan su aplicación práctica.

4.2. Oportunidades identificadas

Los resultados permiten identificar distintas oportunidades para reforzar la aplicación de las tecnologías antifraude en el sector oleícola. La primera se refiere a **integrar mejor la información ya existente**. La conexión entre movimientos, lotes, categorías, contratos, precios, existencias, documentación comercial y resultados analíticos puede facilitar la identificación de incoherencias y orientar los controles hacia operaciones que requieren una comprobación más detallada. Esta posibilidad no exige necesariamente generar más información, sino mejorar su estructuración, conexión y capacidad de explotación.

Una segunda oportunidad consiste en **avanzar hacia una trazabilidad verificable**. Completar los circuitos informativos, relacionar entradas y salidas y facilitar el contraste entre movimientos, documentación y producto puede reforzar la utilidad de los sistemas digitales existentes. En este ámbito, blockchain, códigos QR y otras soluciones digitales pueden contribuir a conservar y transmitir información, pero su aportación al control aumenta cuando los datos registrados son fiables, pueden contrastarse y existe interoperabilidad entre los sistemas implicados.

Una tercera oportunidad se encuentra en **explotar los datos mediante análisis avanzado e inteligencia artificial**. Su aplicación puede contribuir a detectar patrones o anomalías y a priorizar actuaciones de control, especialmente cuando se combinan datos comerciales, administrativos, de trazabilidad y analíticos. La oportunidad reside, por tanto, en utilizar estas herramientas como apoyo a la selección y toma de decisiones, manteniendo la comprobación posterior de las señales identificadas.

Finalmente, los resultados muestran la oportunidad de **integrar el control del producto con el control del proceso**. La combinación del análisis del aceite con la información generada a lo largo de las distintas etapas de la cadena, los sistemas de autocontrol y la certificación puede ampliar las evidencias disponibles para comprobar la coherencia de las operaciones. Esta orientación permitiría reforzar la capacidad de seguimiento y verificación más allá del análisis del producto final.

4.3. Barreras y necesidades para la implantación

Las barreras identificadas muestran que la incorporación efectiva de tecnologías antifraude requiere actuar simultáneamente sobre distintas condiciones de implantación. Una primera dimensión se relaciona con las **limitaciones técnicas y la necesidad de validación**. Resulta necesario continuar mejorando la sensibilidad, especificidad y reproducibilidad de los métodos, así como disponer de bases de referencia suficientemente representativas y procedimientos de validación adecuados. Esta necesidad adquiere especial relevancia ante la variabilidad natural de los aceites y las dificultades para discriminar determinadas alteraciones mediante un único parámetro o técnica.

Una segunda barrera se refiere al **reconocimiento y la aplicación regulatoria**. Los resultados ponen de manifiesto la necesidad de reducir la distancia que puede existir entre el desarrollo de nuevas capacidades analíticas y su utilización efectiva en los

procedimientos oficiales de control. La disponibilidad de una tecnología capaz de aportar información relevante no garantiza por sí sola su aplicabilidad regulatoria. Por ello, la validación, el reconocimiento oficial y, cuando proceda, la armonización de métodos constituye condiciones necesarias para trasladar determinados avances desde el ámbito experimental hacia su utilización rutinaria.

Un tercer ámbito comprende los **costes y las capacidades organizativas**. Los costes de adquisición y funcionamiento, la carga de trabajo, la disponibilidad de personal especializado y los distintos niveles de digitalización pueden generar capacidades de adopción desiguales entre operadores. La implantación tecnológica requiere, por tanto, soluciones proporcionadas a las características y recursos de las organizaciones, así como condiciones que faciliten progresivamente el acceso a herramientas que inicialmente pueden quedar restringidas a operadores con mayor capacidad técnica o económica.

Otra necesidad relevante se sitúa en la **integración y calidad de la información**. Parte del potencial tecnológico depende de la posibilidad de conectar registros y fuentes de datos que actualmente pueden encontrarse separados, así como de garantizar su calidad, interoperabilidad y utilización conforme al marco aplicable. Mejorar la coordinación y el intercambio de información entre los actores y organismos implicados permitiría aprovechar mejor los datos existentes y reforzar su utilidad para orientar las actuaciones de control.

Finalmente, la implantación tecnológica requiere **reforzar las capacidades humanas y la formación**. La disponibilidad de equipos, sistemas digitales o herramientas de análisis avanzado resulta insuficiente si no existe conocimiento para utilizarlos, interpretar sus resultados e integrarlos en los procedimientos habituales. La formación y actualización de capacidades adquieren así una función transversal, tanto para favorecer la utilización adecuada de las herramientas como para facilitar la adaptación a nuevas formas de trabajo.

Estas necesidades están estrechamente relacionadas entre sí. Una tecnología técnicamente eficaz puede tener una aplicación limitada si carece de reconocimiento, resulta difícilmente accesible para determinados operadores, depende de datos que no pueden integrarse o no existen capacidades suficientes para utilizarla e interpretar sus resultados. La implantación efectiva requiere, por tanto, abordar conjuntamente las condiciones técnicas, regulatorias, organizativas, informacionales y humanas que permiten transformar una innovación tecnológica en una herramienta útil para el control del fraude.

4.4. Implicaciones prácticas

Los resultados obtenidos permiten derivar distintas implicaciones para la aplicación de tecnologías orientadas a la prevención y control del fraude en el sector oleícola.

Para las administraciones y organismos responsables del control, los hallazgos apuntan a la conveniencia de aprovechar de forma más integrada la información ya

disponible. La conexión entre registros de movimientos, documentación comercial, categorías, volúmenes, precios y resultados analíticos puede contribuir a identificar incoherencias y orientar las actuaciones hacia operaciones que requieren una comprobación más detallada. Esta orientación requiere también reforzar la interoperabilidad y coordinación entre sistemas y organismos, de forma que los registros permitan no solo almacenar información, sino también reconstruir y contrastar las operaciones realizadas a lo largo de la cadena. El objetivo no sería sustituir la inspección mediante sistemas automatizados, sino utilizar la información disponible como apoyo a la selección y priorización de los controles.

Para los operadores del sector, la incorporación tecnológica puede resultar más útil cuando se integra en los sistemas habituales de autocontrol y gestión. La combinación de trazabilidad, registros de compras y ventas, balances de masa, controles analíticos y certificación puede facilitar la comprobación de la coherencia entre el producto comercializado y el proceso seguido. Esta integración puede responder tanto a exigencias regulatorias como a demandas de compradores y mercados y a la necesidad de proteger la reputación de empresas y marcas.

Para el desarrollo y transferencia de nuevas soluciones tecnológicas, los resultados sugieren orientar la innovación hacia necesidades concretas de autenticación, cribado, trazabilidad o análisis de información, considerando desde etapas tempranas las condiciones que determinarán su utilización práctica. La validación, reproducibilidad, coste, facilidad de uso e integración con los sistemas existentes resultan especialmente relevantes. En este proceso, la colaboración entre empresas, administraciones, universidades, centros de investigación y entidades sectoriales puede facilitar la identificación de necesidades, el desarrollo y prueba de nuevas herramientas y su adaptación a las condiciones reales de aplicación.

Finalmente, como criterio general de implantación, los resultados aconsejan evitar una identificación automática entre mayor digitalización y mayor capacidad de control. La utilidad de una herramienta depende de la fiabilidad de la información que utiliza, de la posibilidad de contrastarla y de la capacidad para actuar a partir de los resultados obtenidos. La prioridad no debería ser incorporar tecnología por sí misma, sino seleccionar e integrar aquellas soluciones que mejoren efectivamente la capacidad de verificar el producto y el proceso y orientar las actuaciones de control.

4.5. Limitaciones del análisis

El estudio presenta algunas limitaciones que deben considerarse al interpretar sus resultados. En primer lugar, se trata de una investigación cualitativa basada en una muestra intencional de 25 participantes, seleccionados por su capacidad para aportar perspectivas relevantes sobre el fenómeno estudiado. La distribución entre perfiles es desigual, de acuerdo con el carácter intencional del muestreo, y algunos de ellos cuentan con un número reducido de participantes. En consecuencia, los resultados permiten identificar y contrastar perspectivas, convergencias, divergencias y matices entre los discursos, pero no pretenden ofrecer estimaciones estadísticamente representativas del conjunto del sector ni establecer diferencias de prevalencia entre perfiles.

Una limitación específica es la ausencia de laboratorios oficiales o comerciales como perfil autónomo. Su incorporación al trabajo de campo resultó especialmente difícil y finalmente no pudo materializarse. Aunque las entrevistas incluyen participantes con conocimiento y experiencia directa en técnicas analíticas y permiten abordar ampliamente sus posibilidades y limitaciones, no se dispone de la perspectiva específica asociada a la actividad rutinaria de los laboratorios, como la recepción y análisis de muestras o la emisión e interpretación de resultados. La incorporación de este perfil permitiría ampliar esta perspectiva en futuros estudios.

Asimismo, las entrevistas presentan diferencias en duración, profundidad y grado de especialización técnica de los participantes. Esta heterogeneidad es coherente con la diversidad de perfiles incluidos y permite aproximarse a la tecnología desde posiciones diferentes dentro del sector, pero implica que no todas las herramientas fueron abordadas con el mismo nivel de detalle en todas las entrevistas. Por ello, la ausencia o escasa presencia de una tecnología en determinados discursos no puede interpretarse por sí sola como rechazo o falta de relevancia.

Finalmente, las tecnologías analizadas presentan diferentes grados de desarrollo, validación e implantación. Los resultados recogen experiencias profesionales, valoraciones y expectativas expresadas por los participantes en el momento del trabajo de campo. En consecuencia, permiten analizar cómo los actores del sector perciben las posibilidades y condiciones de aplicación de estas herramientas, pero no constituyen una evaluación independiente de su rendimiento técnico ni permiten atribuir a todas las soluciones mencionadas el mismo grado de madurez o reconocimiento oficial.

5. Bibliografía

Aparicio-Ruiz, R., Tena, N., & García-González, D. L. (2022). An international survey on olive oils quality and traceability: Opinions from the involved actors. *Foods*, *11*(7), Article 1045. https://doi.org/10.3390/foods11071045

Bragolusi, M., Massaro, A., Zacometti, C., Tata, A., & Piro, R. (2021). Geographical identification of Italian extra virgin olive oil by the combination of near infrared and Raman spectroscopy: A feasibility study. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, *29*(6), 359-365. https://doi.org/10.1177/09670335211051575

Caño-Carrillo, I., Gilbert-López, B., Ruiz-Samblás, C., Molina-Díaz, A., & García-Reyes, J. F. (2024). Virgin olive oil authenticity assays in a single run using two-dimensional liquid chromatography-high resolution mass spectrometry. Analytical Chemistry, 96, 17319–17328. https://doi.org/10.1021/acs.analchem.4c03678

Casadei, E., Valli, E., Panni, F., Donarski, J., Farrús Gubern, J., Lucci, P., Conte, L., Lacoste, F., Maquet, A., Brereton, P., & Bendini, A. (2021). Emerging trends in olive oil fraud and possible countermeasures. *Food Control*, *124*, Article 107902. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.107902

Chousou, C., & Mattas, K. (2021). Assessing consumer attitudes and perceptions towards food authenticity. *British Food Journal*, *123*(5), 1947-1961. https://doi.org/10.1108/BFJ-03-2020-0173

Chousou, C., Tsakiridou, E., & Mattas, K. (2018). Valuing consumer perceptions of olive oil authenticity. *Journal of International Food & Agribusiness Marketing*, *30*(4), 333-354. https://doi.org/10.1080/08974438.2018.1449693

Consolaro, D. M., Fernández-Uclés, D., & Vena-Oya, J. (2025). Enhancing olive oil communication through blockchain agri-food traceability. *New Medit*, *24*(1), 105-126. https://doi.org/10.30682/nm2501f

Conte, L., Bendini, A., Valli, E., Lucci, P., Moret, S., Maquet, A., Lacoste, F., Brereton, P., García-González, D. L., Moreda, W., & Gallina Toschi, T. (2020). Olive oil quality and authenticity: A review of current EU legislation, standards, relevant methods of analyses, their drawbacks and recommendations for the future. Trends in Food Science & Technology, 105, 483–493. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.025

Deng, P., Lin, X., Yu, Z., Huang, Y., Yuan, S., Jiang, X., Niu, M., & Peng, W. K. (2024). Machine learning-enabled high-throughput industry screening of edible oils. *Food Chemistry*, *447*, Article 139017. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139017

European Commission. (2025). *2024 Annual Report: Alert and Cooperation Network (ACN)*. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2875/0397221

European Union. (2017). *Regulation (EU) 2017/625 of the European Parliament and of the Council of 15 March 2017 on official controls and other official activities performed to ensure the application of food and feed law*. Official Journal of the European Union.

Everstine, K. D., Chin, H. B., Lopes, F. A., & Moore, J. C. (2024). Database of food fraud records: Summary of data from 1980 to 2022. *Journal of Food Protection*, *87*, Article 100227. https://doi.org/10.1016/j.jfp.2024.100227

González-Pereira, A., Otero, P., Fraga-Corral, M., García-Oliveira, P., Carpena, M., Prieto, M. A., & Simal-Gándara, J. (2021). State-of-the-art of analytical techniques to determine food fraud in olive oils. *Foods*, *10*(3), Article 484. https://doi.org/10.3390/foods10030484

Hayakawa, T., Yanagawa, M., Yamamoto, A., Aizawa, S.-I., Taga, A., Mochizuki, N., Itabashi, Y., Uchida, H., Ishihara, Y., & Kodama, S. (2020). A simple screening method for extra virgin olive oil adulteration by determining squalene and tyrosol. *Journal of Oleo Science*, *69*(7), 677-684. https://doi.org/10.5650/jos.ess20033

Horns, A. L., Barmbold, S.-M., Weidner, M., & Bachmann, R. (2025). Spatially offset Raman spectroscopy (SORS) for sustainable olive oil authentication: Tackling the challenges in on-site food control. *Food Research International*, *202*, Article 115742. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.115742

Huisman, W., & van Ruth, S. M. (2022). Risky business: Food fraud vulnerability assessments. *Crime, Law and Social Change*, *78*, 559-576. https://doi.org/10.1007/s10611-021-10008-9

Jing, Q., Huang, X.-Y., Shao, J., Lu, H.-Y., Shen, W.-J., Pei, D., Di, D.-L., & Hai, J. (2025). Development of a classification model for extra virgin olive oil adulteration based on squalene and phytosterol profiles. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *19*, 7809-7820. https://doi.org/10.1007/s11694-025-03491-4

Kendall, H., Clark, B., Rhymer, C., Kuznesof, S., Hajšlová, J., Tomaniová, M., Brereton, P., & Frewer, L. (2019). A systematic review of consumer perceptions of food fraud and authenticity: A European perspective. *Trends in Food Science & Technology, 94*, 79–90. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.10.005

Kranz, B., Fritsche, J., Jira, W., Langenkämper, G., Roggensack, T., Sieren, T., Soukup, S. T., Weinert, C. H., Willenberg, I., & Haase, I. (2026). Mass spectrometry of proteins, peptides and small molecules for food authentication: A systematic survey. Food Reviews International, 42(4), 2545–2581. https://doi.org/10.1080/87559129.2025.2553677

Lozano-Castellón, J., López-Yerena, A., Domínguez-López, I., Siscart-Serra, A., Fraga, N., Sámano, S., López-Sabater, C., Lamuela-Raventós, R. M., Vallverdú-Queralt, A., & Pérez, M. (2022). Extra virgin olive oil: A comprehensive review of efforts to ensure its authenticity, traceability, and safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *21*(3), 2639-2664. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12949

Maritano, V., Barge, P., Biglia, A., Comba, L., Ricauda Aimonino, D., Tortia, C., & Gay, P. (2024). Anticounterfeiting and fraud mitigation solutions for high-value food products. *Journal of Food Protection*, *87*(4), Article 100251. https://doi.org/10.1016/j.jfp.2024.100251

Martins-Lopes, P., Gomes, S., Santos, E., & Guedes-Pinto, H. (2008). DNA markers for Portuguese olive oil fingerprinting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *56*(24), 11786-11791. https://doi.org/10.1021/jf801146z

Nanou, E., Pliatsika, N., Stefas, D., Polygenis, D., & Couris, S. (2025). Laser induced breakdown spectroscopy as an emerging technique for olive oil, milk and honey authentication and traceability: A review. *Journal of Food Composition and Analysis*, *144*, Article 107650. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.107650

Quintanilla-Casas, B., Torres-Cobos, B., Guardiola, F., Servili, M., Alonso-Salces, R. M., Valli, E., & Vichi, S. (2022). Geographical authentication of virgin olive oil by GC-MS sesquiterpene hydrocarbon fingerprint: Verifying EU and single country label-declaration. *Food Chemistry*, *378*, Article 132104. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132104

Sánchez-Rodríguez, M. I., Sánchez-López, E., Marinas, A., Caridad, J. M., & Urbano, F. J. (2024). Agro-climatic information to enhance the machine-learning classification of olive oils from near-infrared spectra. *ACS Agricultural Science & Technology*, *4*(11), 1194-1205. https://doi.org/10.1021/acsagscitech.4c00355

Savoia, M. A., Mascio, I., Miazzi, M. M., De Giovanni, C., Grillo Spina, F., Carpino, S., Fanelli, V., & Montemurro, C. (2024). Molecular traceability approach to assess the geographical origin of commercial extra virgin olive oil. *Foods*, *13*(14), Article 2240. https://doi.org/10.3390/foods13142240

Spink, J., & Moyer, D. C. (2011). Defining the public health threat of food fraud. *Journal of Food Science*, *76*(9), R157-R163. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02417.x

Tribunal de Cuentas Europeo. (2026). *Sistemas de control del aceite de oliva en la UE: Un marco exhaustivo, pero aplicado de manera desigual (Informe especial 01/2026)*. https://www.eca.europa.eu/es/publications/sr-2026-01

van Ruth, S. M., Huisman, W., & Luning, P. A. (2017). Food fraud vulnerability and its key factors. *Trends in Food Science & Technology*, *67*, 70-75. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.017

Varnasseri, M., Muhamadali, H., Xu, Y., Richardson, P. I. C., Byrd, N., Ellis, D. I., Matousek, P., & Goodacre, R. (2021). Portable through bottle SORS for the authentication of extra virgin olive oil. *Applied Sciences*, *11*(18), Article 8347. https://doi.org/10.3390/app11188347

Violino, S., Pallottino, F., Sperandio, G., Figorilli, S., Antonucci, F., Ioannoni, V., Fappiano, D., & Costa, C. (2019). Are the innovative electronic labels for extra virgin olive oil sustainable, traceable, and accepted by consumers? *Foods*, *8*(11), Article 529. https://doi.org/10.3390/foods8110529

Violino, S., Pallottino, F., Sperandio, G., Figorilli, S., Ortenzi, L., Tocci, F., Vasta, S., Imperi, G., & Costa, C. (2020). A full technological traceability system for extra virgin olive oil. *Foods*, *9*(5), Article 624. https://doi.org/10.3390/foods9050624

Visciano, P., & Schirone, M. (2021). Food frauds: Global incidents and misleading situations. *Trends in Food Science & Technology*, *114*, 424-442. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.010

Winkelmann, O., & Küchler, T. (2019). Reliable classification of olive oil origin based on minor component profile using 1H-NMR and multivariate analysis. *European Journal of Lipid Science and Technology*, *121*(12), Article 1900027. https://doi.org/10.1002/ejlt.201900027

Yan, J., Erasmus, S. W., Aguilera Toro, M., Huang, H., & van Ruth, S. M. (2020). Food fraud: Assessing fraud vulnerability in the extra virgin olive oil supply chain. *Food Control*, *111*, Article 107081. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.107081

Zhang, Y., Deng, Y., Zhang, C., Xie, P., & Huang, L. (2025). A novel approach for authentication of extra virgin olive oil adulterated with corn, soybean, sunflower, and rapeseed oils using binary indicators based on the linoleic acid and stigmasterol ratio. *Journal of Food Composition and Analysis*, *141*, Article 107298. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.107298

Anexo A. Matriz final: entrevista × dimensiones tecnológicas

Número de referencias codificadas por entrevista y dimensión. Los valores son descriptivos y no expresan prevalencia ni importancia relativa.

Entrevista	Autenticidad	Trazabilidad	Análisis avanzado	Impacto	Impulsores	Barreras
E01-P1	5	4	0	7	7	4
E02-P2	4	1	0	5	0	3
E03-C1	14	3	0	13	5	6
E04-C2	8	0	0	8	3	4
E05-C3	3	1	0	5	1	6
E06-C4	6	3	2	11	3	8
E07-A1	9	8	2	7	1	10
E08-P3	3	5	0	7	1	3
E09-E1	2	0	0	4	0	4
E10-P4	5	7	1	9	3	5
E11-C5	1	1	0	2	1	3
E12-A2	3	5	0	6	2	6
E13-AC1	7	1	0	8	1	6
E14-A3	6	2	0	6	3	6
E15-A4	6	2	0	7	3	4
E16-I1	4	14	0	13	6	6
E17-E2	16	0	0	6	1	10
E18-A5	5	7	0	8	7	4
E19-P5	6	16	10	16	13	12
E20-P6	6	4	0	12	3	6
E21-P7	17	6	6	13	6	17
E22-A6	5	6	2	12	4	7
E23-A7	10	8	3	16	6	10
E24-A8	4	2	1	6	2	5
E25-I2	6	20	6	18	9	9

Anexo B. Matriz final: perfil × dimensiones tecnológicas

Número de referencias codificadas agrupadas por perfil. La desigualdad del tamaño de los perfiles impide interpretar los recuentos como comparación de prevalencias.

Perfil	Autenticidad	Trazabilidad	Análisis avanzado	Impacto	Impulsores	Barreras
Productores/envasadores	46	43	17	69	33	50
Certificaciones DOP/IGP	32	8	2	39	13	27
Asociaciones sectoriales/profesionales	48	40	8	68	28	52
Expertos/investigadores	18	0	0	10	1	14
Asociación de consumidores	7	1	0	8	1	6
Instituciones de control/regulación	10	34	6	31	15	15

Anexo C. Aportación tecnológica sintética por entrevista

Síntesis de localización de la aportación tecnológica diferencial. Su función es facilitar la trazabilidad del análisis y no sustituye la interpretación desarrollada en el cuerpo del informe.

Entrevista	Perfil	Aportación tecnológica
E01-P1	Productores/envasadores	Blockchain, QR y sensores para trazabilidad y control de proceso.
E02-P2	Productores/envasadores	Panel sensorial, actualización de parámetros y control no anunciado.
E03-C1	Certificaciones DOP/IGP	Autocontrol, cata, límites analíticos y QR como información, no prueba.
E04-C2	Certificaciones DOP/IGP	Huella digital cromatográfica para autenticidad y trazabilidad.
E05-C3	Certificaciones DOP/IGP	Límites analíticos, trazabilidad potencial y necesidad de comprensión tecnológica.
E06-C4	Certificaciones DOP/IGP	Panel, nariz electrónica, sensorización e IA con implantación desigual.
E07-A1	Asociaciones sectoriales/profesionales	Crítica a la trazabilidad no verificada y uso de datos para balances.
E08-P3	Productores/envasadores	Trazabilidad de alta granularidad, blockchain/QR y valor premium.
E09-E1	Expertos/investigadores	Filtración, envase, automatización, desodorización y mezclas.
E10-P4	Productores/envasadores	Certificación por depósitos y cautela ante QR e IA sensorial.
E11-C5	Certificaciones DOP/IGP	Análisis físico-químico y sensorial; blockchain depende de datos veraces.
E12-A2	Asociaciones sectoriales/profesionales	Cruce de registros públicos y papel central de la Administración.
E13-AC1	Asociación de consumidores	Analítica pública independiente, transparencia y publicación de resultados.
E14-A3	Asociaciones sectoriales/profesionales	Trazabilidad en tiempo real, auditorías y nariz electrónica.
E15-A4	Asociaciones sectoriales/profesionales	Volátiles y nariz artificial para objetivar la evaluación sensorial.
E16-I1	Instituciones de control/regulación	REMOA, cooperación, digitalización y caracterización de autenticidad/origen.
E17-E2	Expertos/investigadores	Límites y posibilidades de los métodos de autenticidad y detección.
E18-A5	Asociaciones sectoriales/profesionales	REMOA, contratos y precios; brecha entre detección y reconocimiento oficial.
E19-P5	Productores/envasadores	Control dirigido por datos e IA para detectar anomalías y priorizar inspecciones.
E20-P6	Productores/envasadores	Doble capa de control: Administración y gran distribución.
E21-P7	Productores/envasadores	Control de proceso, balances de masa e IA para correlaciones analíticas.
E22-A6	Asociaciones sectoriales/profesionales	SIMO/REMOA, modelos predictivos y objetivación sensorial.
E23-A7	Asociaciones sectoriales/profesionales	Exportación, seguridad jurídica, control por riesgo y medidas objetivas de apoyo a la evaluación sensorial.
E24-A8	Asociaciones sectoriales/profesionales	Certificación proceso-producto, trazabilidad verificable y control por riesgo.
E25-I2	Instituciones de control/regulación	Trazabilidad integrada, NIR, sensores, IA y TraceMap.