



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Proyecto n.º: 2024-1-R001-KA220-HED-000246776

Valorización de los subproductos de la cadena agroalimentaria mediante métodos innovadores y sostenibles

eAfoBy



Co-funded by
the European Union



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

Contenido

DESCRIPCIÓN DEL CURRÍCULUM.....	3
CURRÍCULUM EXTENDIDO	11
Capítulo 1. Introducción - Clasificación de subproductos agroalimentarios.....	11
Capítulo 2. Conocimiento técnico sobre los subproductos de la cadena agroalimentaria de cada país, en términos de cantidad generada por año, impacto en el medio ambiente, clima y recursos sostenibles.	13
Capítulo 3: Legislación nacional y europea relativa a la valorización y el almacenamiento de los subproductos de la cadena agroalimentaria.	20
Capítulo 4. Estrategias actuales utilizadas en cada país para la valorización de los subproductos de la cadena agroalimentaria.....	27
Capítulo 5. Evaluación de la composición química y el potencial nutricional de los subproductos	30
Capítulo 6. Tecnologías innovadoras para la valorización de los subproductos de la cadena agroalimentaria. Uso de métodos innovadores de extracción y transformación de compuestos bioactivos	34
Capítulo 7. Métodos innovadores y biosostenibles para la valorización de subproductos de la cadena agroalimentaria Implementación de métodos de bioconversión (fermentación espontánea, fermentación controlada, fermentación en estado sólido, digestión anaeróbica, pretratamientos enzimáticos).....	38
Capítulo 8: Métodos innovadores y sostenibles de valorización de los subproductos de la cadena agroalimentaria	42
Capítulo 9: Métodos innovadores y sostenibles de valorización de los subproductos de la cadena agroalimentaria (deshidratación, microencapsulación, nanotecnologías).	48
Capítulo 10: Bioaccesibilidad y biodisponibilidad de los compuestos bioactivos a través de la digestión in vivo e in vitro	58
Capítulo 11: Desarrollo sostenible de productos. Obtención de nuevos alimentos a partir de subproductos de la cadena agroalimentaria para la salud y la nutrición humanas	





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

(alimentos funcionales, nutraceuticos, proteínas vegetales, suplementos, prebióticos y probióticos)..... 63

Capítulo 12: Desarrollo de envases sostenibles. Obtención de envases biodegradables y comestibles a partir de subproductos de la cadena agroalimentaria P3 (TM) 73

Capítulo 13: Economía circular y gestión de recursos. Aplicación de los principios de la economía circular en la agroalimentación. Optimización de la cadena de valor de la subproducción. Evaluación de la viabilidad económica de los procesos de reutilización. 77

Bibliografía 87





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

DESCRIPCIÓN DEL CURRÍCULUM

Nombre del proyecto: „Enhancement of Agro Food Chain Byproducts through Innovative and Sustainable Methods”` Project Acronym eAfoBy

Referencia del proyecto: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

Plan de estudios dirigido a expertos y especialistas en agricultura, tecnologías alimentarias, seguridad alimentaria, control alimentario y nutricionistas.

Profesores responsables de contenidos teóricos:

Coordinador (USAMVCN): Maria Simona Chiș, Adriana Păucean, Anca Fărcaș, Anamaria Pop, Man Simona

Socio 1 (UPV): Purificación García Segovia, Marta Igual, Javier Martinez Monzó, Carolina Contreras Monzón

Socio 2 (UPORTO): M. Beatriz Oliveira, Helena Sousa, Anabela Costa, Rita Alves

Socio 3 (ULST): Alexa Ersilia, Negrea Monica, Cocan Ileana, Jianu Calin

Socio 4 (ROMPAN): Voica Daniela, Avram Dana, Marin Daniela.





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

<p>Objetivos</p>	<p>El plan de estudios establece las competencias cognitivas y las habilidades necesarias para formar expertos y especialistas en la gestión de los subproductos de la cadena agroalimentaria.</p> <p>El objetivo es mejorar el conocimiento de los estudiantes y especialistas en el ámbito de la valorización de subproductos agroalimentarios mediante métodos innovadores y sostenibles, con el fin de fomentar la innovación y las buenas prácticas en la valorización agroalimentaria.</p> <p>Este conocimiento refuerza la capacidad de los estudiantes y especialistas para afrontar los retos complejos relacionados con la agricultura, la producción y el control de alimentos, la seguridad alimentaria, las tecnologías de los alimentos y los requerimientos de nutrición humana.</p>
<p>Habilidades cognitivas</p>	<p>El plan de estudios define las competencias cognitivas y las habilidades esenciales para la gestión de los subproductos de la cadena agroalimentaria, con un papel central en la nutrición, la seguridad alimentaria, el control de los alimentos y la valorización mediante nuevos métodos sostenibles.</p> <p>El plan pone de relieve el conocimiento científico y técnico sobre los subproductos de la cadena agroalimentaria de cada país, dirigido al personal formador, en cuanto al origen de los subproductos, la cantidad generada anualmente, las estrategias actualmente empleadas en cada país para su valorización y el impacto de estos subproductos sobre el medio ambiente, el clima y los recursos sostenibles.</p> <p>El desarrollo de las competencias cognitivas debe estar alineado con el pensamiento crítico, la resolución de problemas, la conciencia en sostenibilidad y la especialización técnica.</p> <p>1. Pensamiento analítico Evaluar la utilización de subproductos en las cadenas agroalimentarias. Analizar los retos y oportunidades asociados a la sostenibilidad. Identificar ineficiencias en los sistemas actuales de gestión de subproductos.</p> <p>2. Habilidades para la resolución de problemas Desarrollar soluciones innovadoras para la reducción y reutilización de residuos. Diseñar métodos sostenibles de procesamiento para los subproductos. Abordar los impactos ambientales y económicos derivados.</p> <p>3. Investigación y análisis Realizar investigaciones científicas sobre la gestión de residuos agroalimentarios. Aplicar principios bioquímicos y tecnológicos a la valorización de subproductos.</p>





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

	<p>Analizar estudios de caso y aplicaciones prácticas reales.</p> <p>4. Toma de decisiones y pensamiento estratégico Valorar factores económicos, ambientales y sociales en la valorización de subproductos. Seleccionar tecnologías adecuadas para el procesado sostenible. Integrar los principios de economía circular en las cadenas agroalimentarias.</p> <p>5. Competencia digital y tecnológica Utilizar herramientas digitales para el análisis y optimización de subproductos. Aplicar enfoques basados en datos para las prácticas de sostenibilidad. Comprender la automatización y las tecnologías inteligentes en el procesado agroalimentario.</p> <p>6. Colaboración interdisciplinar Colaborar con expertos en ciencia de los alimentos, agricultura, ingeniería y gestión empresarial. Aplicar conocimientos interdisciplinarios para mejorar la sostenibilidad. Desarrollar habilidades comunicativas para la difusión del conocimiento y la formulación de políticas.</p> <p>7. Creatividad e innovación Generar aplicaciones novedosas para los subproductos de la cadena agroalimentaria. Explorar el desarrollo de productos de base biológica. Diseñar modelos de negocio sostenibles.</p>
<p>Habilidades profesionales</p>	<p>Las competencias profesionales deben estar alineadas con los requerimientos actuales de la industria agroalimentaria, la sostenibilidad y la economía circular.</p> <p>1. Competencias técnicas y científicas Aplicación de los principios de la bioquímica y la biotecnología en la valorización de subproductos. Identificación y uso de tecnologías modernas para el procesado y la reutilización de subproductos agroalimentarios. Control de calidad y seguridad alimentaria de los productos obtenidos a partir de subproductos.</p> <p>2. Competencias en innovación y desarrollo de productos Creación de nuevos productos sostenibles basados en subproductos agroalimentarios.</p>





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

	<p>Uso de métodos innovadores de extracción y transformación de compuestos bioactivos.</p> <p>Desarrollo de envases ecológicos y tecnologías respetuosas con el medio ambiente.</p> <p>3. Competencias en economía y gestión de recursos Aplicación de los principios de la economía circular en el ámbito agroalimentario.</p> <p>Evaluación de la viabilidad económica de los procesos de valorización de subproductos.</p> <p>Planificación y optimización de la cadena de suministro y distribución de los productos obtenidos.</p> <p>4. Competencias en sostenibilidad y protección ambiental Implementación de estrategias para la reducción de pérdidas y desperdicio alimentario.</p> <p>Evaluación del impacto ambiental de los procesos de recuperación y reutilización.</p> <p>Desarrollo de prácticas agrícolas e industriales sostenibles.</p> <p>5. Competencias digitales y en el uso de tecnologías avanzadas Uso de inteligencia artificial y sensores para optimizar los procesos de reciclaje y reutilización.</p> <p>Análisis de datos para mejorar la eficiencia de la cadena agroalimentaria.</p> <p>Familiarización con software y equipos específicos de la industria agroalimentaria.</p> <p>6. Competencias en investigación y desarrollo Realización de estudios y ensayos orientados a mejorar la valorización de subproductos.</p> <p>Aplicación de métodos científicos para la evaluación y validación de nuevos productos.</p> <p>Publicación y difusión de los resultados de investigación en el ámbito agroalimentario.</p> <p>7. Competencias en comunicación y colaboración interdisciplinar Trabajo en equipos multidisciplinares para la ejecución de proyectos innovadores.</p>
--	---





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

	<p>Presentación y promoción de soluciones sostenibles ante los diferentes agentes del sector (productores, transformadores, consumidores).</p> <p>Desarrollo de alianzas entre el ámbito académico y la industria.</p>
Unidades de competencia	<p>Las unidades de competencia pueden estructurarse para abarcar los aspectos tecnológicos, económicos, de sostenibilidad y de investigación.</p> <p>1. Análisis y caracterización de los subproductos agroalimentarios Identificación y clasificación de los subproductos agroalimentarios. Evaluación de la composición química y del potencial nutricional de los subproductos. Aplicación de métodos de análisis fisicoquímico y microbiológico.</p> <p>2. Tecnologías innovadoras para la valorización de subproductos (valorización de los subproductos de la cadena agroalimentaria) Implementación de métodos de bioconversión (fermentación espontánea, fermentación controlada, fermentación en estado sólido, digestión anaerobia, pretratamientos enzimáticos). Aplicación de tecnologías de extracción de compuestos bioactivos (CO₂ supercrítico, ultrasonidos, microfiltración, extracción asistida por enzimas, extracción asistida por microondas, técnicas de extracción basadas en presión, explosión de vapor, extracción con agua subcrítica, extracción con líquidos presurizados, extracción mediante campos eléctricos pulsados, descarga eléctrica de alto voltaje). Uso de técnicas sostenibles de procesado (deshidratación, microencapsulación, fermentación, bioconversión, nanotecnologías).</p> <p>3. Desarrollo sostenible de productos y envases Elaboración de nuevos productos alimentarios basados en subproductos de la cadena agroalimentaria. Desarrollo de envases biodegradables y comestibles. Ensayo y validación de productos innovadores obtenidos a partir de subproductos agroalimentarios.</p> <p>4. Economía circular y gestión de recursos Aplicación de los principios de la economía circular en el sector agroalimentario. Optimización de la cadena de valor de los subproductos.</p>





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

	<p>Evaluación de la viabilidad económica de los procesos de reutilización.</p> <p>5. Impacto ambiental y sostenibilidad de los procesos Análisis del ciclo de vida de los subproductos y evaluación de su impacto ambiental.</p> <p>Implementación de estrategias de reducción de residuos y de emisiones de carbono.</p> <p>Cumplimiento de la normativa y legislación ambiental relativa al uso de subproductos agroalimentarios.</p> <p>6. Investigación e innovación en el sector agroalimentario Desarrollo de proyectos de investigación orientados a la valorización de subproductos.</p> <p>Aplicación de métodos científicos para el ensayo y validación de soluciones innovadoras.</p> <p>Publicación y difusión de resultados en el ámbito agroalimentario.</p> <p>7. Gestión de la calidad y la seguridad alimentaria Aplicación de métodos de trazabilidad y control de contaminantes.</p> <p>Gestión de riesgos y cumplimiento de la normativa legal vigente.</p> <p>8. Comunicación y colaboración interdisciplinar Desarrollo de habilidades para el trabajo en equipos multidisciplinares. Presentación y promoción de soluciones innovadoras ante la industria y los consumidores.</p> <p>Creación de alianzas entre el ámbito académico y el sector agroalimentario.</p>
Elementos de innovación	<p>Los elementos de innovación deben integrar tecnologías avanzadas, conceptos de economía circular y soluciones sostenibles.</p> <p>1. Tecnologías avanzadas para la valorización de los subproductos agroalimentarios</p> <p>Bioteologías emergentes: utilización de enzimas, microorganismos y herramientas de ingeniería genética para transformar los residuos en productos de alto valor añadido.</p>





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

	<p>Procesos de extracción respetuosos con el medio ambiente: aplicación de métodos verdes como la extracción con CO₂ supercrítico, la extracción asistida por ultrasonidos y la microfiltración para la recuperación de compuestos bioactivos.</p> <p>Nano y microencapsulación: técnicas para proteger y estabilizar compuestos bioactivos destinados a la industria alimentaria y farmacéutica.</p> <p>2. Creación de productos innovadores a partir de subproductos agroalimentarios</p> <p>Ingredientes funcionales: desarrollo de complementos alimenticios, prebióticos y probióticos obtenidos de subproductos agroalimentarios.</p> <p>Materiales de base biológica: producción de bioplásticos, envases biodegradables o tejidos sostenibles a partir de residuos agroalimentarios.</p> <p>3. Sostenibilidad y economía circular</p> <p>Revalorización agroalimentaria (upcycling): transformación de subproductos en productos de alto valor añadido (por ejemplo, pieles de fruta convertidas en polvos antioxidantes).</p> <p>Agricultura de residuo cero (Zero Waste Farming): integración de sistemas de producción agrícola que aprovechen todos los recursos sin generar desechos.</p>
<p>El impacto</p>	<p>El curso "Enhancement of Agro Food Chain Byproducts through Innovative and Sustainable Methods" tiene un impacto multidimensional, influyendo en la sostenibilidad ambiental, el desarrollo económico, la innovación tecnológica y la educación.</p> <p>1. Impacto ambiental</p> <p>Reducción de residuos agroalimentarios: fomenta el uso eficiente de los subproductos, disminuyendo los residuos enviados a vertederos y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero.</p> <p>Promoción de la economía circular: impulsa prácticas sostenibles mediante la conversión de residuos en recursos de valor añadido.</p> <p>Disminución de la contaminación: contribuye a reducir la contaminación del suelo, el agua y el aire mediante tecnologías de gestión de residuos respetuosas con el medio ambiente.</p> <p>2. Impacto económico</p>





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

	<p>Creación de nuevas oportunidades empresariales: favorece el desarrollo de startups e industrias centradas en la valorización de residuos.</p> <p>Reducción de costes para las empresas agroalimentarias: ayuda a minimizar los costes de eliminación y a generar beneficios a partir de los subproductos.</p> <p>Generación de empleo: impulsa la creación de puestos de trabajo en sectores verdes y sostenibles.</p> <p>3. Avances tecnológicos y científicos Desarrollo de técnicas innovadoras de procesado: introduce tecnologías avanzadas de extracción, fermentación y bioconversión.</p> <p>Fomento de la investigación y la innovación: promueve estudios interdisciplinarios orientados a la mejora sostenible de la cadena agroalimentaria.</p> <p>4. Impacto social y educativo Empoderamiento de los futuros profesionales: proporciona a los estudiantes conocimientos y competencias en sostenibilidad, innovación y ciencia de los alimentos.</p> <p>Mayor sensibilización pública: fomenta el consumo responsable y la reducción del desperdicio alimentario en la sociedad.</p> <p>Colaboración con la industria y los responsables políticos: fortalece la conexión entre el ámbito académico, el sector industrial y las administraciones públicas para impulsar políticas con impacto real.</p>
--	--

Financiado por la Unión Europea. No obstante, los puntos de vista y opiniones expresados pertenecen a los autores y en ningún caso reflejan las de la Unión Europea o el ANPCDEF. Ni la Unión Europea ni el ANPCDEF pueden ser considerados responsables de ellos.





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

CURRICULUM EXTENDIDO

Capítulo 1. Introducción - Clasificación de subproductos agroalimentarios.

Los subproductos agroalimentarios, como cáscaras, semillas, tallos, bagazo, huesos y cubiertas, se generan durante el procesamiento de los alimentos. Tradicionalmente, estos subproductos han sido descartados y enviados a vertederos debido a su elevada producción y a la ausencia de prácticas sostenibles de gestión, lo que ha originado diversos retos de carácter ambiental, social y económico. Estos subproductos representan biorrecursos de alto valor, ya que poseen propiedades composicionales y nutricionales significativas, siendo ricos en compuestos funcionales y bioactivos beneficiosos para la salud humana. Pueden ser reutilizados para la elaboración de nuevos ingredientes o productos alimentarios destinados al consumo humano, favoreciendo su aprovechamiento integral y su reintegración en la cadena de suministro alimentario. Esta estrategia se alinea con el modelo de bioeconomía circular, generando ingresos, oportunidades empresariales y empleo. (Gómez-García, R.; et al., 2021)

La clasificación de los subproductos agroalimentarios, en el contexto de la valorización de los subproductos de la cadena agroalimentaria mediante métodos innovadores y sostenibles, puede basarse en distintos criterios, como el origen, la composición, el potencial de aprovechamiento y los métodos de procesamiento.

1. Clasificación según el origen

- Subproductos de origen vegetal: derivados de frutas, hortalizas, cereales, legumbres y semillas oleaginosas.
- Cáscaras, semillas y orujos de frutas y hortalizas (p. ej., cáscaras de naranja, orujo de manzana, pieles de tomate) (Difonzo et al., 2022).
- Salvado y cascarillas de cereales (p. ej., salvado de trigo, cáscara de arroz, mazorcas de maíz) (Anal & Panesar, 2021).





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

- Harinas proteicas de semillas oleaginosas (p. ej., harina de soja, harina de colza, tortas de girasol) (Fernández F., 2024).
- Subproductos de origen animal: procedentes de las industrias cárnica, láctea y pesquera.
- Harina de carne y hueso, vísceras, sangre, colágeno, gelatina (Gómez-García, R. et al., 2021).
- Suero procedente del procesado lácteo (Anal & Panesar, 2021).
- Residuos de pescado (cabezas, espinas, piel, vísceras) (Fernández, 2024).

2. Clasificación según la composición

- Subproductos ricos en carbohidratos: orujos de frutas, salvado de cereales, cáscaras de patata (Difonzo et al., 2022).
- Subproductos ricos en proteínas: harinas de semillas oleaginosas, residuos de pescado y de procesado cárnico (Anal & Panesar, 2021).
- Subproductos ricos en lípidos: aceites usados, subproductos de aceite de pescado (Gómez-García, 2021).
- Subproductos ricos en fibra: cascarillas, pieles de frutas, biomasa lignocelulósica (Fernández, 2024).
- Subproductos ricos en compuestos bioactivos: orujo de uva rico en polifenoles, pieles de tomate ricas en carotenoides (Gómez-García, 2021).

3. Clasificación según el potencial de aprovechamiento

- *Aplicaciones alimentarias y en piensos:*
 - Ingredientes funcionales (fibra dietética, antioxidantes) (Difonzo et al., 2022).
 - Alimentación animal (harinas oleaginosas, residuos de pescado) (Anal & Panesar, 2021).
- *Producción de bioenergía y biocombustibles:*
 - Producción de biogás (digestión anaerobia de residuos orgánicos) (Triviño-Pineda, A.-S., 2024).





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

- Producción de bioetanol y biodiésel (biomasa lignocelulósica, aceites residuales) (Mujtaba, M., 2023).
 - *Biopolímeros y envases biodegradables:*
 - Extracción de bioplásticos (p. ej., almidón, quitosano, celulosa) (Inayatul M., 2025).
 - *Usos farmacéuticos y cosméticos:*
 - Extracción de compuestos bioactivos (polifenoles, flavonoides, proteínas) (Fernández, 2024).
 - *Compostaje y enmiendas del suelo:*
 - Fertilizantes orgánicos y mejoradores del suelo (p. ej., residuos de frutas y hortalizas compostados) (Difonzo et al., 2022).
- 4. Clasificación según los métodos de procesamiento**
- Procesamiento mecánico: molienda, prensado, trituración (Anal & Panesar, 2021).
 - Procesamiento biológico: fermentación, hidrólisis enzimática (Gómez-García, R. et al., 2021).
 - Procesamiento químico: extracción con disolventes, hidrólisis ácida o alcalina (Fernández, 2024).
 - Procesamiento térmico: secado, pirólisis, torrefacción (Difonzo et al., 2022).

Capítulo 2. Conocimiento técnico sobre los subproductos de la cadena agroalimentaria de cada país, en términos de cantidad generada por año, impacto en el medio ambiente, clima y recursos sostenibles.

Las pérdidas derivadas de las actividades de procesamiento y producción dentro del sector agroalimentario se estiman en aproximadamente entre un 30 % y un 80 % del rendimiento total, lo que contribuye a generar hasta 1,3 mil millones de toneladas métricas de residuos alimentarios anuales (Brennan, 2024), como se muestra en la Figura 1.





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

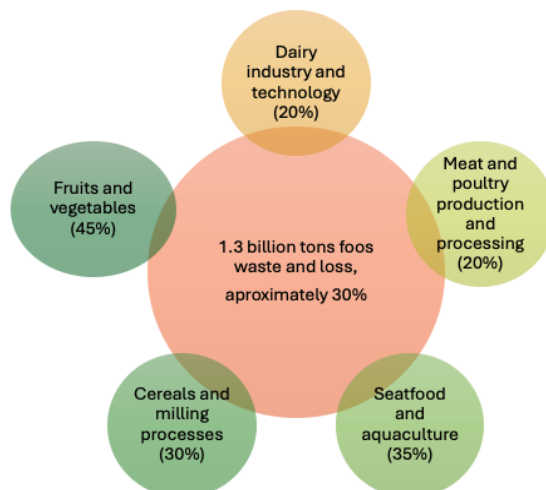


Figure 1. Estimación de las pérdidas y el desperdicio del sector primario a nivel mundial (adaptado y modificado de Brennan et al., 2024)

Según Rațu, R.N. et al. (2023), los subproductos agroalimentarios pueden clasificarse en función de la etapa de la cadena alimentaria en la que se generan, de la siguiente manera (Figura 2):

Aproximadamente un tercio de todos los alimentos producidos a nivel mundial se pierde o se desperdicia a lo largo de la cadena de suministro. El procesamiento de cereales constituye uno de los principales contribuyentes a la pérdida global de alimentos, con una estimación del 35 % de los granos de cereal que se pierden o desperdician a lo largo de la cadena de suministro, representando el 12,9 % del desperdicio alimentario mundial (Sharma et al., 2025; Fărcaș et al., 2022). Estas pérdidas ocurren en múltiples etapas, incluyendo la fase previa a la cosecha, la manipulación postcosecha, la degradación durante el almacenamiento, las pérdidas por contaminación con micotoxinas y el desperdicio a nivel del consumidor (Sharma et al., 2025). Un análisis exhaustivo del Joint Research Centre (JRC) indica que los





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

siete principales países de la UE —Francia, Alemania, Polonia, Italia, España, Reino Unido y Rumanía— representan aproximadamente el 75 % de la producción total de residuos de cultivo de la UE-28 (alrededor de 323 millones de toneladas anuales), procedentes principalmente de cereales, semillas oleaginosas y cultivos permanentes. (publications.jrc.ec.europa.eu).

Primary agricultural production:	Agro-food processing:	Distribution and trade:	Final consumption:
stems, leaves, husks, crop residues, animal manure;	fruit and vegetable peelings, pits, tescovine, cakes, bagasse, molasses;	expired or damaged products, non-compliant packaging;	food waste, prepared and uneaten food.

Figura 2. Clasificación de los subproductos agroalimentarios según su etapa en la cadena de valor.

La tabla 1 muestra los principales subproductos identificados en Rumanía, España y Portugal, su fuente de generación, el impacto ambiental y las cantidades generadas por año a nivel global, así como las oportunidades de valorización.





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

Tabla 1. Principales subproductos en Rumania, España y Portugal

Subproducto	Fuente de generación	Volumen anual estimado	Impacto medioambiental	Oportunidades de valorización	Bibliografía
Residuos de cultivos	Cosecha, proceso de molienda, proceso de limpieza de granos, proceso de sancochado del arroz...	~7.7 billones T/año (82.6% del total de biomasa recolectada)	Emisiones de GEI de la quema al aire libre; erosión del suelo; Contaminación por partículas	Biocarbón, biofertilizantes, bioenergía lignocelulósica, biogás	Lefavre et al., 2023, Fărcas et al., 2022
Bagazo de cerveza	Procesado tecnológico de la cerveza	~40 millones T Mundial/año	Emisiones de metano/CO ₂ por descomposición	Ingredientes de proteína/fibra; en la producción de alimentos (pasteles, panes, crackers, muesli, extruidos), biogás, envasado de alimentos, bioplásticos - polihidroxialcanatos (PHA); de bioetanol, de alimentación animal	Chetrariu 2020, Petit et al., 2020,
Residuos de frutas y verduras	Manejo postcosecha, ineficiencias en el transporte, estándares de calidad...	~1.3 billones T /año	Metano de vertedero; Lixiviación de nutrientes	Aplicaciones industriales (industria textil, industria química, energías renovables, industria de la salud, industria	Rapa et al., 2024, Ramzan et al., 2025, Ingale et al., 2025





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

				alimentaria), pigmentos naturales, encapsulación	
Bagazo manzana	Procesado de manzana (zumo, mermelada, vinagre, sidra)	~4 MT/año	Alto deterioro por humedad; alto DQO en efluentes	Pectina; polifenoles; fibra; vinagre; matriz probiótica, biogás, ácido propiónico, bioetanol, industria farmacéutica, industria alimentaria	Vlad et al., 2022, Farcas et al., 2022, Pascoalino et al., 2025
Subproductos de ciruela	Procesado de ciruela (zumo, nectar, mermelada, ciruela deshidratada, bebidas alcohólicas y no alcohólicas)	≈5–8 MT/año	Lixiviados ricos en fenólicos; Toxicidad de las semillas	Aceites bioactivos; Películas comestibles de proteínas de grano, industrias cosmética, farmacéutica y alimentaria, biocombustible	Aaqib Sheikh et al., 2023, Ahmed et al., 2023, Rodríguez-Blázquez et al., 2024, Katnic et al., 2022.
Bagazo de aceituna	Extracción de aceite de oliva	~40 MT/año (principalmente EU)	Contaminación del suelo y el agua a través de fenólicos que los hacen no biodegradables y fitotóxicos	Extractos bioactivos; oligosacáridos prebióticos; Biocarbón de la industria alimentaria, bioenergía, cosméticos, tratamiento de aguas residuales, productos farmacéuticos, materiales de envasado de	Gomez-Cruz et al., 2023; Enaine et al., 2023; Fotiadou et al., 2024, Loschi et al., 2024





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

				alimentos, suplementos alimentarios humanos y animales	
Subproductos de vinificación	Proceso tecnológico del vino	~14 MT/año	Alta carga fenólica que afecta la calidad del suelo y el agua; efluentes significativos de aguas residuales (lías), contaminación de aguas subterráneas con riesgo para la población humana y acuática	Extracción de polifenoles, ácido tartárico, fibra dietética; producción de extracto de levadura de lías de vino, digestión anaeróbica para biogás; películas de embalaje enriquecidas con bioactivos, plástico biodegradable, adsorbente de metales, alimentación animal (rumiantes)	Karastergiou et al., 2024; Matias et al., 2025
Residuos cítricos	Procesado de cítricos (zumo, mermeladas, diferentes formulaciones de frutas...)	~15–25 MT/año 56 MT/año en industrias de procesado de frutas en la UE de las cuales 2,5 MT/año son naranjas.	Residuos ácidos; toxicidad por limoneno; DQO/DBO alto, pH bajo	D-limoneno; pectina; flavonoides; biopolímeros, envases de película activa, posible sustituto del plástico, industria alimentaria, producción de bioetanol, alimentación animal	Manakas et al., 2025; Rawat et al., 2024; Andrade et al., 2023
Subproductos de café	Industria del café	~ 10 millones de cáscara de café	La liberación de metano, CO ₂ , contribuye a la alerta mundial,	Bioabsorbentes para tratamiento de aguas, ingredientes alimentarios, cosméticos,	(Choe, 2025; Costa et al., 2025; Oliveira et al., 2021;





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

			compuestos fitoquímicos tóxicos	fertilizantes, bioetanol, biomasa, biocarbón, envasado de alimentos	Tamilselvan et al., 2024)
Subproductos de microalgas	Agar, alginato, producción de carragenato	Biomasa seca de microalgas ~50,000 t/year; Espirulina ~12,000 t, Chlorella ~6,600 t. Flujos residuales (post-extracción) probablemente decenas de miles de toneladas	La eliminación a gran escala de desechos de algas marinas fibrosas puede sobrecargar los ecosistemas costeros o los vertederos	La valorización a través de biogás, biofertilizantes y biorrefinación mitiga los desechos al tiempo que ofrece productos de valor agregado.	(Abreu et al., 2023), (Zhang et al., 2024), (Bojorges et al., 2023.)

GHG – Gases Efecto Invernadero; COD -Demanda Química de Oxígeno; BOD -Demanda Bioquímica de Oxígeno





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

Capítulo 3: Legislación nacional y europea relativa a la valorización y el almacenamiento de los subproductos de la cadena agroalimentaria.

La reducción y prevención del desperdicio de alimentos se reconoce cada vez más como una forma importante y eficaz de reducir la huella ecológica del sistema alimentario y lograr un sistema alimentario sostenible y resiliente, contribuyendo a la seguridad alimentaria y nutricional mundial (Wunder et al., 2018).

Hoy en día es bien sabido que las industrias alimentarias generan enormes cantidades de subproductos lignocelulósicos procedentes de la elaboración de cerveza, vino, caña de azúcar, azúcar de café, verduras y frutas, entre otros, que generalmente se desechan como residuos y a menudo se consideran contaminantes medioambientales. Estos subproductos alimentarios incluyen una amplia gama de cáscaras, semillas, tallos, raíces, residuos de pulpa, bagazo y cáscaras que, a pesar de su valor nutricional, siguen siendo rechazados por las industrias (Gómez-García et al., 2021).

A nivel mundial, la actual eliminación y mala gestión de los subproductos agroalimentarios ha demostrado tener un impacto negativo en el medio ambiente y en los sectores sociales y económicos (Gómez-García et al., 2021). Además de los elevados costes sociales y económicos, las pérdidas y el desperdicio de alimentos contribuyen al cambio climático, con una huella de carbono global de aproximadamente el 8 % del total de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero, y representan un desperdicio de recursos limitados como la tierra, la energía y el agua (Wunder et al., 2018).

En este caso, el medio ambiente se contamina por las emisiones de gases de efecto invernadero, ya que estos materiales orgánicos a menudo se desechan simplemente en vertederos o se queman para evitar la acumulación de microorganismos, parásitos y plagas (Gómez-García et al., 2021).





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

Además, las estrategias actuales de gestión de los residuos alimentarios, como el vertido, la incineración, el compostaje y la alimentación animal, no se consideran sostenibles ni respetuosas con el medio ambiente. Estas estrategias de gestión también afectan al sector social, ya que pueden provocar enfermedades respiratorias debido a los contaminantes tóxicos liberados al aire, lo que reduce la calidad de vida de las personas (Gómez-García et al., 2021).

Por otro lado, desde el punto de vista económico, el concepto de economía circular ha promovido estrategias adecuadas para la gestión y valorización de estos subproductos con el fin de reducir la contaminación y promover el crecimiento bioeconómico sostenible en todas las industrias, diseñando y creando nuevas fuentes de ingresos. Estas mejoras podrían lograrse mediante la valorización completa de estos residuos biológicos alimentarios, ya que conservan un alto contenido de moléculas bioactivas con valor añadido, que podrían extraerse y utilizarse como nuevas materias primas industriales, ya que se ha demostrado que poseen varias aplicaciones bioactivas (Gómez-García et al., 2021).

Los subproductos alimentarios son una fuente de muchos compuestos bioactivos útiles, fibras dietéticas, ácidos grasos y proteínas, que tienen un gran potencial para el desarrollo de nuevos productos alimenticios y la promoción de la economía circular y la sostenibilidad (Knežević N. et al., 2021).

La UE, a través de iniciativas como el Pacto Verde Europeo y la Estrategia de la Granja a la Mesa, ha tratado de abordar estos retos fomentando prácticas agrícolas sostenibles. A pesar de estos esfuerzos, la aplicación satisfactoria de estas políticas se enfrenta a dos retos importantes: una regulación insuficiente en algunos ámbitos y una regulación excesivamente estricta en otros. Por un lado, la ausencia de marcos normativos claros y estandarizados para la recuperación de los residuos agrícolas ha obstaculizado la plena integración de los residuos agroalimentarios en una economía circular (Nicastro R.





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

et al., 2024).

Los residuos agrícolas, que incluyen la biomasa residual de la producción y la transformación de alimentos, representan un recurso sin explotar para productos de base biológica, como la bioenergía, los bioplásticos y los biofertilizantes. A pesar del prometedor potencial de estos productos, los marcos normativos, como la Directiva 2008/98/CE de la UE sobre residuos, han tenido dificultades para proporcionar una orientación clara para la recuperación de estos materiales (Nicastro R. et al., 2024).

3.1. Legislación europea sobre la recuperación y el almacenamiento de subproductos de la cadena agroalimentaria

Ø Reglamento (UE) 2017/625

Este reglamento establece normas para los controles oficiales a lo largo de la cadena agroalimentaria con el fin de garantizar el cumplimiento de las normas de seguridad alimentaria, salud animal y fitosanitaria.

Ø Reglamento (UE) 2019/1009

Este reglamento establece una vía legal para productos recuperados específicos, como la estruvita y el biocarbón, pero es necesaria una legislación más completa para otros materiales de origen biológico.

Ø Directiva 2008/98/CE de la UE sobre residuos

Esta directiva promueve la jerarquía de gestión de residuos, fomentando la prevención, la reutilización, el reciclado y la recuperación de energía, y establece requisitos para la gestión de los residuos alimentarios, incluso en el sector agroalimentario.

Paquete de medidas sobre la economía circular (2018)

- Incluye cambios legislativos para promover la reutilización y el reciclaje, especialmente en el sector agroalimentario.
- Objetivo: reducir los residuos alimentarios en un 50 % para 2030.

La economía circular es una parte fundamental de la estrategia de la Unión Europea para



Co-funded by
the European Union



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

el crecimiento sostenible. Se centra en la reducción de residuos, la reutilización de materiales y la mejora de la eficiencia de los recursos. Como parte del Pacto Verde Europeo, el Plan de Acción para la Economía Circular tiene como objetivo cerrar los ciclos de los materiales y reducir la dependencia de los recursos finitos. Este enfoque no solo podría apoyar los objetivos medioambientales, sino que también impulsaría la innovación, crearía puestos de trabajo y fortalecería la economía de la UE, contribuyendo a alcanzar la neutralidad climática para 2050. Sin embargo, el retraso en la adopción de medidas legislativas claras ha obstaculizado la transición hacia prácticas agrícolas sostenibles, en particular en lo que se refiere a los marcos normativos que apoyan los modelos de economía circular en la agricultura (Nicastro R. et al., 2024).

3.2. Legislación nacional rumana sobre la valorización y el almacenamiento de subproductos de la cadena agroalimentaria

Ø Ley n.º 211/2011 sobre el régimen de residuos

La Ley n.º 211/2011 fue derogada por la Ordenanza de Emergencia n.º 92/2021, que transpone los requisitos de la Directiva 2008/98/CE sobre residuos y la Directiva (UE) 2018/851. En virtud de esta ley, los subproductos se definían como sustancias u objetos resultantes de un proceso de producción cuyo objetivo principal no era su producción, pero que cumplían determinadas condiciones, como un uso posterior cierto y legal, sin ser sometidos a un procesamiento posterior.

Ø Ley n.º 217/2016 sobre la reducción del desperdicio de alimentos

La Ley n.º 217/2016 regula las medidas para prevenir y reducir el desperdicio de alimentos en la cadena agroalimentaria. Los operadores económicos del sector agroalimentario están obligados a adoptar medidas para prevenir el desperdicio de alimentos en todas las etapas de la producción, transformación, almacenamiento, distribución y comercialización de alimentos. Las medidas previstas incluyen:

- Vender productos cercanos a su fecha de caducidad a un precio reducido.





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

- Transferir alimentos mediante donaciones o patrocinios para el consumo humano.
- Dirigir los subproductos no destinados al consumo humano a unidades de transformación autorizadas.
- Transformar los productos agroalimentarios que ya no son aptos para el consumo humano o animal en compost o biogás.
- Dirigir los productos que quedan después de completar las etapas anteriores a unidades de neutralización autorizadas.

Esta ley fue modificada por la Ley n.º 49/2024.

La Ley n.º 49/2024, aprobada en marzo de 2024, introduce la obligación de que todos los operadores del sector agroalimentario adopten medidas para prevenir el desperdicio de alimentos, con el fin de alcanzar el objetivo de reducir el desperdicio de alimentos en un 50 % para 2030.

Ø Ley n.º 249/2015 sobre la gestión de envases y residuos de envases

La Ley n.º 249/2015 regula la gestión de los envases y residuos de envases, estableciendo medidas para la prevención de la producción de residuos, la reutilización de envases, el reciclado y otras formas de recuperación. Los operadores económicos del sector agroalimentario son responsables de la recogida y recuperación de los residuos de envases generados, incluso mediante el reciclado o la reutilización, de conformidad con los principios de la economía circular.

Ø Decisión del Gobierno n.º 51/2019

La Decisión del Gobierno n.º 51/2019 aprueba las Normas Metodológicas para la aplicación de la Ley n.º 217/2016. Estas normas establecen las medidas para prevenir el desperdicio de alimentos en la cadena agroalimentaria y las responsabilidades de los operadores económicos al respecto. También establece la obligación de los operadores



Co-funded by
the European Union



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

económicos de aplicar al menos dos medidas para prevenir el desperdicio de alimentos antes de ordenar la neutralización de los residuos alimentarios generados.

La Ley n.º 217/2016 y las modificaciones introducidas por la Ley n.º 49/2024 se ajustan a la normativa europea sobre la gestión de subproductos en la cadena agroalimentaria. Promueven la prevención del desperdicio de alimentos, la protección de la salud pública y animal, y apoyan la transición hacia una economía circular en el sector agroalimentario.

Ø Orden n.º 168/2023 de la Autoridad Nacional Sanitaria, Veterinaria y de Seguridad Alimentaria ()

Esta ordenanza regula el control oficial de los establecimientos que procesan, almacenan, transportan, explotan y comercializan productos de origen no animal, de conformidad con los reglamentos europeos sobre higiene alimentaria y controles oficiales.

Ø Ordenanza de emergencia n.º 92/2021 relativa al régimen de residuos

La Ordenanza de Emergencia n.º 92/2021 regula la gestión de residuos en Rumanía, incluido el sector agroalimentario. Exige a los operadores económicos del sector agroalimentario que adopten medidas para prevenir el desperdicio de alimentos, dando prioridad al uso de productos alimenticios para el consumo humano y, si esto no es posible, para la alimentación animal o para la recuperación mediante compost o biogás.

3.3. Legislación nacional de Portugal sobre la valorización y el almacenamiento de subproductos de la cadena agroalimentaria

En el cuadro 2 se muestra la principal legislación nacional portuguesa.



Co-funded by
the European Union



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

Directiva (Decreto-Ley)	Fecha	Ámbito	Disposiciones clave	Referencias
Decreto-Ley n.º 102-D/2020 Nuevo Régimen General de Gestión de Residuos (nRGGR)	10 /12/ 2020	Gestión de residuos y valorización de subproductos	<ul style="list-style-type: none"> - Define los criterios para clasificar los subproductos (art. 5) - Exige el almacenamiento separado y el uso posterior previsto - Permite la valorización mediante compostaje, digestión anaeróbica, alimentación animal y recuperación de energía 	https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/102-d-2020-150908012
Decreto-Ley n.º 152-D/2017	11 /12/ 2017	Régimen consolidado de sistemas de gestión de residuos	<ul style="list-style-type: none"> - Regula el flujo de residuos orgánicos, incluidos los residuos de envases y los biorresiduos. - Obliga a la recogida selectiva y a la posible recuperación de los residuos agroalimentarios biodegradables 	https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/152-d-2017-114337042

3.4. Legislación nacional española sobre la valorización y el almacenamiento de subproductos de la cadena agroalimentaria

La tabla 3 destaca la principal legislación nacional española

Instrumento jurídico	Fecha	Ámbito de aplicación	Disposiciones clave	Referencia oficial (BOE)
Ley 7/2022, de 8 de abril	8 de abril de 2022	Residuos y suelos contaminados para una economía circular	Define los criterios de «subproducto» y «fin de la condición de residuo»; establece la jerarquía de gestión de residuos	https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-5809
Real Decreto 1528/2012, de 8 de noviembre	8 de noviembre de 2012	Subproductos animales no destinados al consumo humano	Transpone el Reglamento (CE) n.º 1069/2009; regula la recogida, el almacenamiento y la utilización de subproductos animales.	https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2012-14165





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

Orden TED/92/2022, de 8 de febrero	8 de febrero de 2022	Clasificación de los residuos de orujo de oliva como subproductos	Condiciones administrativas para declarar los residuos de almazaras como subproductos (no residuos)	https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2022-2328
Ley 1/2025, de 1 de abril	1 de abril de 2025	Prevención y valorización de las pérdidas y el desperdicio de alimentos	Marco para la reducción, separación y valorización de las pérdidas y excedentes agroalimentarios	https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2025-6597

Capítulo 4. Estrategias actuales utilizadas en cada país para la valorización de los subproductos de la cadena agroalimentaria

Rumanía ha desarrollado y aplicado activamente estrategias para valorizar los subproductos de la cadena agroalimentaria, con el objetivo de reducir los residuos, promover la sostenibilidad y apoyar la economía circular.

Una estrategia clave que implica la extracción de compuestos bioactivos valiosos (como polifenoles, vitaminas y antioxidantes, etc.) de los subproductos agroalimentarios, que apoya el uso de subproductos como el orujo de manzana y la cáscara de castaña para aplicaciones e es de alto valor, se llevó a cabo en el período 2017-2023, en el Instituto Nacional de I+D para las Ciencias Biológicas de Rumanía. El proyecto facilitó la transferencia de conocimientos y tecnología del instituto de investigación a las pequeñas y medianas empresas (pymes), especialmente las del sector agrícola y agroalimentario, los productores de fitofármacos, suplementos nutricionales y bebidas naturales, y los fabricantes de equipos de extracción de biomasa (<https://proiecte.incdsb.ro/FITOCOMP/#scop>).

Varios proyectos recientes constituyen un sólido ejemplo de valorización innovadora de los subproductos agroalimentarios en Rumanía. Uno de ellos, presentado por la UASVM de Bucarest, se centra en el desarrollo de un código de buenas prácticas





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

[realizados/](#)).

En Portugal, el grupo Sovena integra la producción de aceite de oliva con la valorización del biodiésel y los subproductos. El orujo y las semillas de oliva se utilizan para extraer compuestos bioactivos o se convierten en bioenergía, mientras que el grupo Cerealis se dedica a la valorización de las cáscaras y el salvado de cereales, utilizándolos en ingredientes ricos en fibra, piensos o aplicaciones energéticas. FeedValue (INIAV), IntegraValor, Centre BIO: Bioindustries, Biorefineries, and Bioproducts, VALOR+ y CircularTech son solo algunos de los proyectos que tienen como objetivo mantener la valorización de la cadena agroalimentaria (<https://blc3.pt/projects.php>).

Capítulo 5. Evaluación de la composición química y el potencial nutricional de los subproductos

La industria agroalimentaria es uno de los sectores que más residuos orgánicos genera. Muchos de estos subproductos tienen una rica composición nutricional de compuestos bioactivos, nutrientes esenciales y fibra, pero a menudo se desechan sin recuperar, lo que contribuye a la degradación del medio ambiente y al desperdicio de recursos. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2014), a nivel mundial se pierde o se desperdicia una gran cantidad de alimentos a lo largo de la cadena de suministro.

La adopción de prácticas de gestión sostenible que den prioridad a la prevención de residuos, la minimización de pérdidas y la valorización de subproductos y coproductos es esencial para alcanzar los objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Estos enfoques promueven la sostenibilidad de los sistemas alimentarios, ayudan a mitigar la malnutrición y fomentan el crecimiento económico mediante la optimización del uso de los recursos naturales (Gómez-García et al., 2021; Despoudi et al., 2021). En este contexto, la investigación científica y tecnológica, realizada en colaboración con empresas del sector,





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

ha desempeñado un papel fundamental en la caracterización y valorización de los residuos agroindustriales, con el objetivo de reintegrarlos de forma segura y eficiente en la cadena alimentaria (Leong y Chang, 2022; Özcan et al., 2023; Ritika et al., 2024).

Subproductos de la producción de aceite de oliva

La producción de aceite de oliva genera grandes volúmenes de subproductos. Estos tienen un impacto medioambiental significativo. Este es especialmente el caso de los países mediterráneos. Los principales residuos son el orujo de oliva, el agua de lavado y los residuos sólidos, como hojas y ramas.

El orujo de oliva, compuesto por pieles, pulpa y huesos que quedan después de la extracción del aceite, contiene altos niveles de compuestos fenólicos, fibras dietéticas solubles e insolubles y ácidos grasos bioactivos. Estudios recientes han demostrado sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas, y se considera un ingrediente funcional prometedor para su uso en alimentos, suplementos nutricionales y cosméticos (Nunes et al., 2018; Nunes et al., 2019; Nunes et al., 2021; Sousa et al., 2023). Sin embargo, las aguas residuales del proceso de extracción son ricas en compuestos fenólicos y tienen una alta carga orgánica, lo que supone un importante reto medioambiental. No obstante, se ha investigado como fuente potencial de antioxidantes naturales para su uso en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica (Nunes et al., 2016). Además, la digestión anaeróbica puede producir biogás y convertir estos efluentes en fuentes de energía alternativas (Hamdi, 1996; Bani Kheiredine et al., 2022; Vaz et al., 2024).

Los residuos lignocelulósicos, como las hojas y las ramas, pueden valorizarse mediante la extracción de compuestos bioactivos como la oleuropeína y otros polifenoles, que se





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

procesamiento húmedo. Luego están las cáscaras obtenidas del método seco. La piel plateada se libera durante el tostado. Por último, los posos de café se producen cuando se prepara la bebida. (Alves et al., 2017; Murthy y Naidu, 2012). De estos subproductos, la pulpa de café destaca por su alto contenido en compuestos bioactivos, fibra y cafeína, que le confieren propiedades antioxidantes y efectos beneficiosos sobre los parámetros metabólicos. Su perfil nutricional y funcional ha llevado a su reciente inclusión en la categoría de «nuevos alimentos» por parte de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA, 2021).

Varios estudios han destacado el potencial de la pulpa de café en la formulación de alimentos funcionales y suplementos nutricionales que pueden modular el metabolismo lipídico, controlar la glucemia y prevenir enfermedades metabólicas como la obesidad y la diabetes (Pérez et al., 2023; Gil-Ramírez et al., 2024; Rungraung et al., 2023; Bashir et al., 2024). Otros subproductos relevantes, como los posos de café, contienen cantidades significativas de compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes, y se están investigando para su uso en las industrias alimentaria, cosmética y de biomateriales (Saratale et al., 2020).

Capítulo 6. Tecnologías innovadoras para la valorización de los subproductos de la cadena agroalimentaria. Uso de métodos innovadores de extracción y transformación de compuestos bioactivos

La creciente generación de subproductos agroalimentarios representa un importante reto medioambiental, pero también una valiosa oportunidad para la valorización de compuestos bioactivos con posibles aplicaciones en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica. Subproductos como el orujo de oliva y la piel plateada del café contienen altos niveles de compuestos fenólicos, ácidos orgánicos, vitaminas y fibra dietética. Sin





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

embargo, debemos desarrollar y aplicar tecnologías innovadoras para extraer estos compuestos de manera eficiente, segura y sostenible. Este capítulo analiza los principales avances tecnológicos aplicados a la extracción y transformación de compuestos bioactivos a partir de subproductos agroindustriales. Aquí nos centramos en métodos de química sostenible y verde.

Los métodos convencionales utilizados se basan principalmente en el proceso de extracción sólido-líquido, que implica el uso de disolventes orgánicos como el etanol o el metanol, a menudo mezclados con agua. Por ejemplo, se ha demostrado que los disolventes hidroetanólicos (1:1) a 40 °C durante 60 minutos extraen eficazmente los compuestos antioxidantes del orujo de oliva (Nunes et al., 2018). En el caso de la piel plateada del café, Costa et al. (2012) optimizaron la extracción con etanol-agua al 50 % (v/v), utilizando un diseño experimental para maximizar el rendimiento total de compuestos antioxidantes y fenólicos. Si bien estas técnicas ofrecen buenos rendimientos, suelen requerir mucho tiempo, energía y disolventes, y no siempre son compatibles con los principios de la química verde.

Uno de los enfoques tecnológicos más recientes es la extracción asistida por ultrasonidos (UAE), que utiliza ondas ultrasónicas para promover la cavitación acústica y facilitar la ruptura celular y la liberación de compuestos bioactivos. Utilizando solo agua como disolvente, se ha demostrado que esta técnica permite recuperar los compuestos fenólicos del orujo de oliva en solo 5 minutos, logrando rendimientos superiores a los de la extracción acuosa convencional de 60 minutos (Nunes et al., 2018). La UAE también se ha utilizado para obtener extractos de piel plateada del café con propiedades prebióticas (Machado et al., 2024).

Otra técnica prometedora es la tecnología modulada multimodo multifrecuencia (MMM), que combina múltiples frecuencias y modos de vibración para aumentar la eficiencia de la extracción. Ofrece ventajas como la eliminación de la necesidad de moler



Co-funded by
the European Union



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

la muestra y el uso de agua como disolvente. En estudios con la piel plateada del café, la tecnología MMM permitió una mayor recuperación de antioxidantes en solo 10 minutos, en comparación con la extracción clásica de 60 minutos (Puga et al., 2017). Además, esta tecnología se ha ampliado con éxito a nivel piloto, manteniendo la calidad de los extractos (Peixoto et al., 2022).

La aplicación de sistemas de membranas (nanofiltración y ósmosis inversa) permite la concentración selectiva de compuestos bioactivos y la separación de fracciones con diferentes aplicaciones. En el caso del orujo de oliva, se utilizó un proceso patentado de extracción verde integrada, seguido de una concentración asistida por membranas, utilizando al mismo tiempo la fracción permeada para el riego (Nunes et al., 2019).

Otros enfoques emergentes incluyen la extracción asistida por microondas, los fluidos supercríticos, los campos eléctricos pulsados y las descargas eléctricas de alto voltaje. Estas técnicas han demostrado un gran potencial en términos de eficiencia, ya que requieren poca energía y reducen el tiempo de procesamiento, al tiempo que preservan la integridad de los compuestos bioactivos (Soares et al., 2024).

La comparación de los diferentes métodos aplicados a diversos subproductos agroalimentarios mejora nuestra comprensión de las ventajas y limitaciones de cada enfoque. Por ejemplo, en el caso de la piel plateada del café, la extracción convencional con una solución de etanol al 50 % en agua a 60 °C durante 30 minutos maximizó la recuperación de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante (Costa et al., 2012). La extracción asistida por ultrasonidos (UAE) en un medio acuoso permitió la producción de extractos ricos en fibra soluble y ácidos clorogénicos, lo que proporcionó beneficios prebióticos (Machado et al., 2024). La tecnología MMM, que no requiere molienda, puede proporcionar un mayor rendimiento de compuestos como el ácido clorogénico y la cafeína en solo 10 minutos con una alta eficiencia energética (Puga et al., 2017; Peixoto et al.,





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

2022).

En cuanto al orujo de oliva, la extracción hidroetanólica convencional a 40 °C durante 60 minutos dio como resultado la recuperación de 487 μg GAE/mL de compuestos fenólicos (Nunes et al., 2018). Utilizando solo agua como disolvente y extrayendo durante solo 5 minutos, la UAE obtuvo 402 μg GAE/mL, logrando un mayor rendimiento que la extracción acuosa convencional (257 μg GAE/mL). La aplicación de tecnología verde integrada mediante membranas permitió la separación y concentración de compuestos fenólicos y tocoferoles (Nunes et al., 2019). Los resultados demuestran que, si bien los métodos convencionales pueden proporcionar resultados satisfactorios, las técnicas innovadoras se distinguen por su rapidez, respeto al medio ambiente y alta eficiencia en la extracción de compuestos bioactivos, incluso en condiciones menos extremas.

Los extractos resultantes se incorporaron a formulaciones de micro y nanolipidos portadores (Fathi et al., 2022) para mejorar la estabilidad, la biodisponibilidad y la eficacia de administración de los compuestos activos. Estas formulaciones demostraron perfiles de liberación adecuados y son compatibles con aplicaciones en complementos alimenticios y cosméticos. Además, el extracto de piel plateada mostró potencial antidiabético al inhibir el transporte intestinal de glucosa y fructosa (Peixoto et al., 2022), así como un efecto prebiótico al promover el crecimiento de *Lactobacillus paracasei* (Machado et al., 2024).

Tecnologías como la extracción asistida por ultrasonidos (UAE), la modulación multifrecuencia multimodo (MMM) y los procesos de membrana son muy prometedoras para la valorización de los subproductos agroalimentarios, ya que permiten la extracción eficiente, sostenible y económica de compuestos bioactivos. Estos enfoques se ajustan a los principios de la bioeconomía y la economía circular, contribuyendo así a la sostenibilidad medioambiental y al desarrollo de productos innovadores y funcionales. Los estudios futuros deberían centrarse en optimizar los parámetros operativos y ampliar los

37



Co-funded by
the European Union



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

procesos para su uso industrial.

Capítulo 7. Métodos innovadores y biosostenibles para la valorización de subproductos de la cadena agroalimentaria Implementación de métodos de bioconversión (fermentación espontánea, fermentación controlada, fermentación en estado sólido, digestión anaeróbica, pretratamientos enzimáticos)

Los objetivos de desarrollo sostenible deben ser regenerativos para promover enfoques sostenibles en la producción de alimentos y la gestión de residuos con cero residuos y la producción de alimentos funcionales para el bienestar a través de la alimentación. La valorización de los subproductos agroalimentarios mediante métodos innovadores y biosostenibles es fundamental para mejorar la eficiencia de los recursos, reducir el impacto medioambiental y promover las bioeconomías circulares (Soccol et al., 2017).

Las técnicas de fermentación espontánea y controlada utilizan cultivos microbianos nativos o seleccionados para transformar los residuos alimentarios en productos valiosos, como ácidos orgánicos, enzimas y compuestos bioactivos (Simone et al., 2023). La fermentación controlada con *Lactobacillus* spp y *Saccharomyces* spp. puede convertir el orujo de frutas y verduras en probióticos, conservantes naturales e ingredientes alimentarios funcionales (López-Gómez et al., 2020). La fermentación en estado sólido utiliza hongos para producir enzimas, pigmentos y proteínas en sustratos de residuos agrícolas como el salvado de cereales o las cáscaras de frutas, lo que ofrece una alternativa ecológica con un consumo mínimo de agua.

La fermentación espontánea consiste en un proceso de fermentación natural sin cultivos iniciadores añadidos, que se basa en la microbiota nativa. Se utiliza comúnmente para los residuos de frutas y verduras y otros sustratos para la proliferación de la





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

microbiota. Suele producirse en tanques abiertos o fermentadores en condiciones ambientales. Otros intereses de la fermentación espontánea son los orujos de oliva, uva y otros subproductos ricos en antioxidantes que pueden beneficiarse de los metabolitos producidos, como por ejemplo los ácidos grasos de cadena corta, relevantes para la salud intestinal y el bienestar general. Resulta interesante por su bajo coste y la necesidad de una infraestructura mínima. Los aspectos negativos asociados tienen que ver con los resultados impredecibles, el deterioro y el riesgo de contaminación. Además, la variabilidad de la actividad microbiana y la calidad del producto pueden ser importantes para conseguir productos típicos asociados al «terroir».

La caracterización de la microbiota típica de los productos arroja luz sobre este enfoque de transformación de un residuo en subproductos de valor añadido, importante en términos de producción de alimentos funcionales y gestión y desarrollo regenerativos de residuos.

La fermentación controlada corresponde a la fermentación mediante cultivos iniciadores seleccionados para garantizar la consistencia y la seguridad, utilizando sustratos como orujo de fruta, cáscaras de verduras, subproductos de cereales y residuos lácteos, y tiene las siguientes características:

- Necesidad de controlar el pH, la temperatura y los niveles de oxígeno utilizando fermentadores o biorreactores.
- Los cultivos utilizados son normalmente bacterias como *Lactobacillus* spp. y levaduras como *Saccharomyces cerevisiae*.
- Las ventajas son la producción constante de compuestos bioactivos, enzimas y ácidos orgánicos, utilizados en el desarrollo de alimentos funcionales y conservantes naturales.

Algunos ejemplos son: la fermentación láctica de la cáscara de zanahoria para





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

desarrollar compuestos antimicrobianos para el envasado de alimentos o piensos.

Fermentación en estado sólido: consiste en la fermentación en sustratos sólidos con un mínimo de agua libre, ideal para cultivos fúngicos.

- Es adecuada para residuos agrícolas como la cáscara de arroz, el orujo de fruta el salvado de trigo utilizados como sustrato.
- Se inocula con hongos como *Aspergillus niger*, *Rhizopus* spp. y *Trichoderma* spp.
- Se lleva a cabo en bandejas, columnas o biorreactores de lecho compacto.
- Las ventajas son la producción eficiente de enzimas, micoproteínas, compuestos aromáticos y ácidos orgánicos.
- Bajo consumo de agua, eficiencia energética.

Los retos: difícil de escalar y controlar la temperatura/humedad.

La digestión anaeróbica transforma los residuos orgánicos, como las cáscaras de frutas, los residuos vegetales y el estiércol, en biogás renovable y digestato rico en nutrientes (Kumar et al., 2021). Es otro tipo de descomposición microbiana de la materia orgánica en ausencia de oxígeno, que produce biogás y digestato.

Insumos comunes:

- estiércol animal, residuos vegetales, cáscaras de frutas, residuos de matadero, lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Requiere digestores sellados con control de temperatura (mesófilos o termófilos).
- Subproductos: biogás rico en metano y digestato rico en nutrientes (utilizado como fertilizante).

Ventajas:

- Genera energía renovable y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

- El digestato mejora la fertilidad del suelo y cierra los ciclos de nutrientes.

Desafíos:

- Necesita un pretratamiento para la biomasa lignocelulósica.
- Inhibición debido a materias primas con alto contenido en grasas o ácidas.

Por ejemplo: Digestión anaeróbica de cáscaras de patata y residuos lácteos en sistemas de codigestión para biogás y compost.

Pretratamientos enzimáticos: uso de enzimas (celulasas, amilasas, proteasas) para descomponer polímeros complejos (celulosa, lignina, proteínas) en unidades fermentables.

Aplicación:

- Se aplica a residuos agrícolas como paja, cáscaras, orujo de fruta o grano usado de cervecería.
- Las enzimas pueden añadirse antes de la fermentación o la digestión para mejorar el rendimiento.

Ventajas:

- Aumenta la biodisponibilidad de los nutrientes o azúcares fermentables.
- Permite la recuperación de productos de alto valor (bioetanol, hidrolizados de proteínas).
- Requiere una optimización cuidadosa del pH y la temperatura.

Ejemplo:

El pretratamiento con celulasa de la cáscara de cítricos mejora la producción de bioetanol o potencia la extracción de fibra soluble para el enriquecimiento de alimentos.

Potencial de integración: enfoques combinados de bioconversión. Ejemplos

- I. Hidrólisis enzimática del orujo de fruta → libera azúcares.





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

II. Fermentación controlada del hidrolizado utilizando *Lactobacillus* → produce ácido láctico.

III. Sólidos restantes → fermentación en estado sólido para producir enzimas o biopolímeros.

IV. Residuos → digestión anaeróbica para obtener biogás y compost.

En general, estos enfoques tienen como objetivo transformar los residuos en subproductos de valor añadido que aportan beneficios para el bienestar.

Capítulo 8: Métodos innovadores y sostenibles de valorización de los subproductos de la cadena agroalimentaria

En la industria alimentaria, la extrusión termoplástica se clasifica como una tecnología de procesamiento de alta temperatura y corto tiempo (HTST), ya que facilita la producción de una amplia gama de productos alimenticios y piensos con modificaciones mínimas en el equipo central, siempre que los parámetros del proceso se controlen adecuadamente (Abilmazhinov et al., 2021).

La cocción por extrusión ofrece varias ventajas notables, entre las que destaca su capacidad para transformar materias primas de bajo coste en una amplia gama de productos de valor añadido en tiempos de procesamiento cortos. Este método permite una producción constante y de alto rendimiento mediante un sistema continuo y energéticamente eficiente (Offiah et al., 2018).

Los sistemas de extrusión pueden funcionar en condiciones de cizallamiento bajo, medio o alto, dependiendo de las características de los materiales de entrada y de las propiedades deseadas del producto final. Las extrusoras termoplásticas se emplean generalmente en condiciones de alto cizallamiento. El cizallamiento bajo, o extrusión en





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

frío, se aplica comúnmente en la fabricación de productos como la pasta y los productos cárnicos reestructurados (Abilmazhinov et al., 2021).

Los residuos agrícolas pueden utilizarse eficazmente en el desarrollo de productos de valor añadido mediante el procesamiento por extrusión, una tecnología muy versátil y eficiente desde el punto de vista energético, capaz de adaptarse a una amplia gama de materias primas heterogéneas (Dey et al., 2021).

La extrusión es un **proceso termomecánico continuo** en el que una mezcla de materias primas —normalmente húmedas, amiláceas y/o proteicas— se fuerza a través de una matriz bajo alta presión, cizallamiento y temperatura moderada a alta (hasta ~200 °C), lo que da como resultado la texturización, cocción, conformación y densificación del extrudado (Coton et al., 2020).

La **bioconversión se refiere** a la transformación biológica de residuos agroindustriales —como orujo de fruta, cáscaras de cereales, granos usados y posos de café usados— en productos ricos en energía (por ejemplo, biogás, bioetanol, biohidrógeno, lípidos microbianos) mediante la acción de microorganismos, sistemas enzimáticos o consorcios fermentativos (Kiran et al., 2014). Mediante el empleo de métodos como la digestión anaeróbica, la fermentación y la lipogénesis microbiana, a menudo combinados en biorrefinerías en cascada, este enfoque permite la valorización eficiente de los residuos, la reducción de los gases de efecto invernadero, el despliegue de la bioenergía rural y la generación de coproductos económicos.

Las modernas tecnologías de extracción, respaldadas por **métodos térmicos** avanzados, han demostrado un potencial significativo para reducir tanto el tiempo de procesamiento como los residuos agroindustriales. Entre ellas, técnicas emergentes como la extracción con agua subcrítica y la extracción asistida por microondas (MAE) han ganado cada vez más atención, en particular por su eficacia en la extracción de compuestos polifenólicos de subproductos agroalimentarios. Estos métodos facilitan la recuperación

43



Co-funded by
the European Union



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

rápida y eficiente de solutos gracias a la mejora de los mecanismos de transferencia de masa y desorción, ya que se rompen las estructuras celulares, lo que mejora la accesibilidad de los compuestos objetivo al disolvente. En consecuencia, estos procesos logran una mayor eficiencia de extracción en menos tiempo y con un menor consumo de disolvente en comparación con los métodos convencionales. No obstante, las elevadas temperaturas que implican estos métodos térmicos pueden afectar negativamente al rendimiento de los polifenoles al inducir reacciones de degradación, incluida la formación de compuestos indeseables como el 5-(hidroximetil)furfural (Duah Boateng et al., 2023).

La industria alimentaria está adoptando cada vez más tecnologías innovadoras de extracción suave y no térmica, como la extracción asistida por ultrasonidos, la extracción con líquido a presión, la extracción con fluidos supercríticos, la extracción con alta presión hidrostática, la luz pulsada, el campo eléctrico pulsado, la descarga eléctrica de alto voltaje, la extracción asistida por microondas y la extracción asistida por enzimas, para la recuperación de compuestos bioactivos. Estas técnicas ofrecen ventajas significativas con respecto al procesamiento térmico convencional, entre las que se incluyen un mayor rendimiento y cinética de extracción, funcionamiento en condiciones ambientales o de baja temperatura, menor degradación térmica de los compuestos sensibles al calor, mejor conservación de la bioactividad, mayor eficiencia energética y uso preferencial de disolventes aptos para uso alimentario y respetuosos con el medio ambiente (Arruda et al., 2021). Una serie de técnicas de extracción no térmicas, entre las que se incluyen la extracción asistida por ultrasonidos, la extracción asistida por microondas, la extracción con fluidos supercríticos, la extracción a alta presión y la extracción asistida por enzimas, han suscitado un gran interés debido a su mayor eficiencia energética, la reducción o minimización de los requisitos de disolventes, la seguridad operativa y la capacidad de producir extractos de alta calidad.

Estas metodologías innovadoras se han desarrollado para abordar las limitaciones





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

inherentes a los procesos de extracción convencionales, como los largos tiempos de procesamiento, el alto consumo de energía y las preocupaciones relacionadas con los disolventes. Además, estos enfoques avanzados suelen requerir duraciones de extracción significativamente más cortas, lo que ofrece una alternativa más eficiente y sostenible a los métodos tradicionales (Sridhar et al., 2022).

La extracción asistida por microondas (MAE) emplea energía de microondas para facilitar la recuperación eficiente de valiosos compuestos bioactivos a partir de residuos alimentarios, incluidos colorantes naturales, aceites esenciales, compuestos aromáticos, nutrientes, agentes antimicrobianos y componentes aromáticos. Esta técnica representa una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente a los métodos de extracción convencionales, ya que ofrece ventajas como la reducción del consumo de energía y disolventes, tiempos de procesamiento más cortos y una mayor eficiencia de extracción (Yudhister et al., 2025).

La extracción asistida por enzimas se ha empleado como una estrategia eficaz para valorizar los flujos de residuos al facilitar la liberación de compuestos fenólicos de las matrices celulares vegetales. Este método mejora la eficiencia de la extracción al tiempo que preserva la integridad estructural y la bioactividad de los fitoquímicos recuperados (Brennan et al., 2024).

La extracción asistida por ultrasonidos mejora notablemente tanto el rendimiento como la tasa de recuperación de compuestos de alto valor, como los antioxidantes y los polifenoles, a partir de subproductos del procesamiento de frutas y verduras, lo que mejora la eficiencia y la sostenibilidad del proceso. Además, esta técnica minimiza el consumo de disolventes y preserva eficazmente la integridad de los componentes bioactivos termolábiles (Yudhister et al., 2025).

Loncaric et al., 2020 utilizaron **campos eléctricos pulsados (PEF)**, extracción





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

asistida por ultrasonidos (UAE) y descargas eléctricas de alto voltaje (HVED) para la extracción de compuestos fenólicos del orujo de arándanos. Los autores concluyeron que el método PEF libera un mayor contenido total de polifenoles en comparación con los métodos HVED o UAE, y que la eficiencia de la extracción se ve influida por varios parámetros, entre ellos: para HVED, el tipo de disolvente, la duración del tratamiento y la frecuencia de descarga; para PEF, la composición del disolvente, la intensidad del campo eléctrico y el número de pulsos aplicados; y para UAE, el tipo de disolvente, la temperatura de extracción y el tiempo de procesamiento.

Las técnicas de extracción basadas en la presión, como la presión hidrostática alta (HHP), la extracción con líquido a presión (PLE) y la extracción con fluido supercrítico (SFE), han cobrado un e interés en el sector agroalimentario debido a su capacidad para extraer compuestos bioactivos de alto valor (por ejemplo, fenoles, antocianinas, lípidos) de los residuos del procesamiento de alimentos (por ejemplo, orujo, salvado, posos de café usados). Estos métodos son respetuosos con el medio ambiente, suelen utilizar disolventes de grado alimentario o CO₂, y funcionan en condiciones térmicas suaves para mantener la integridad de los compuestos (Battistella Lasta et al., 2019, Visnjevec et al., 2024).

La extracción líquida a presión (PLE) está reconocida como una técnica eficaz para la recuperación de compuestos bioactivos, en particular fenólicos, no solo de matrices vegetales primarias, sino también de residuos y subproductos agroindustriales. En comparación con los métodos de extracción convencionales, la PLE ofrece rendimientos equivalentes o superiores, al tiempo que reduce significativamente tanto el uso de disolventes como el tiempo de procesamiento (Visnjevec et al., 2024).

La explosión de vapor se considera una técnica de pretratamiento fisicoquímico prometedora, capaz de alterar eficazmente la arquitectura lignocelulósica de la biomasa.





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

Este proceso altera la composición y la estructura de la hemicelulosa y la lignina mediante una combinación de cocción con vapor a alta presión y descompresión rápida, lo que induce fuerzas de cizallamiento mecánicas. Debido a su eficacia para superar la recalcitrancia de la biomasa, la explosión de vapor se ha adoptado ampliamente como método de pretratamiento estándar en la producción de biocombustibles y en aplicaciones de fabricación de pasta lignocelulósica (He et al., 2022). El estudio de Padilla-Rascon et al., 2020 confirma que los subproductos de los huesos de aceituna podrían utilizarse para la producción de azúcar mediante tratamientos como el ácido y la explosión de vapor (195 °C, 5 minutos), seguidos de una hidrólisis con enzimas.

Los procesos de separación basados en membranas e impulsados por presión, como la ultrafiltración, la microfiltración y la nanofiltración, ofrecen numerosas ventajas para la recuperación de compuestos lábiles de corrientes acuosas diluidas. Estas tecnologías se consideran respetuosas con el medio ambiente, ya que funcionan a temperaturas relativamente bajas (normalmente entre 20 y 60 °C), requieren un aporte mínimo de energía y no necesitan el uso de reactivos químicos adicionales. Además, se prestan a la automatización, la electrificación y el diseño de sistemas compactos. Debido a su permeabilidad selectiva, que depende del tamaño, la forma y los mecanismos de exclusión de carga, los procesos de membrana muestran una eficiencia excepcional en el fraccionamiento de moléculas biológicas, al tiempo que preservan la integridad estructural y funcional de los compuestos recuperados (Papaioannou et al., 2022). En el contexto de la separación basada en membranas, los polifenoles de los subproductos de la cadena agroalimentaria pueden fraccionarse en función de su peso molecular y de las características específicas de la membrana empleada. Por lo general, los polifenoles de bajo peso molecular se recuperan e e en la fase de retentado durante la nanofiltración (NF), debido a la permeabilidad selectiva de la membrana (Castro-Muñoz et al., 2016).





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

Capítulo 9: Métodos innovadores y sostenibles de valorización de los subproductos de la cadena agroalimentaria (deshidratación, microencapsulación, nanotecnologías).

Los subproductos alimentarios son muy perecederos, lo que supone un reto para las industrias alimentaria y farmacéutica a la hora de garantizar su seguridad microbiológica y su calidad. Para evitar su degradación, los subproductos alimentarios deben transportarse rápidamente y almacenarse en condiciones de refrigeración. Los tratamientos preliminares, como la irradiación y el secado, pueden aumentar la seguridad de los subproductos alimentarios. Sin embargo, los procesos de secado o molienda hasta obtener partículas de tamaño fino pueden ser técnicas eficaces para la valorización de los subproductos y sus compuestos bioactivos (Comunian et al., 2021).

Se pueden utilizar métodos de secado mejorados para valorizar los subproductos con el fin de resolver las preocupaciones relativas a la sostenibilidad y la seguridad alimentaria. Dependiendo de las necesidades de los fabricantes y del tipo de procedimientos de secado utilizados durante el procesamiento, los productos finales suelen presentarse en diversas formas sólidas (chips, tiras o cubos) y productos granulares/polvos que se presentan en diferentes formas y tamaños. Además, la retención de los componentes bioactivos de los subproductos crudos puede facilitarse mediante tecnologías de secado innovadoras (Choon Hui Tan et al., 2021).

El secado puede alterar significativamente las características físicas, en particular la textura, debido a la eliminación de la humedad. Además, el aspecto visual, la textura, el sabor, el olor y el color pueden verse afectados, y los alimentos pueden volverse rígidos, quebradizos, duros y encogerse significativamente. El secado puede provocar endurecimiento y encogimiento, lo que hace que el producto sea más duro. El secado





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

excesivo de las capas celulares externas del tejido puede provocar un endurecimiento superficial, lo que impide que se elimine la humedad de las capas celulares internas. En condiciones de secado extremas, la capa endurecida puede romperse mientras que las capas celulares internas permanecen líquidas (Choon Hui Tan et al., 2021). La elección de la tecnología de secado óptima es crucial para la valorización de los alimentos, ya que afecta tanto a las cualidades físicas como nutricionales. Los métodos de secado pueden clasificarse en función del tipo de material, el contenido de humedad o la cinética de secado para seleccionar la tecnología adecuada.

Métodos de secado

I. Métodos de secado convencionales

Los métodos de secado convencionales más conocidos son el secado en tambor, el secado en armario, el secado en horno de aire caliente, el secado solar y al vacío, junto con el secado por atomización, el secado por congelación y el secado en lecho fluidizado. Durante el secado en tambor, se utiliza vapor para elevar la temperatura de la superficie interna del tambor, mientras que, en el secado en armario, el producto se seca extendiéndolo en bandejas o estantes y exponiéndolo a un calor y un flujo de aire regulados para eliminar la humedad. Por otro lado, la técnica más popular para crear frutas en polvo y deshidratadas para su uso en repostería, procesamiento de alimentos o como aditivos en otros productos es el secado en horno de aire caliente, mientras que el secado solar se utiliza tradicionalmente para productos como verduras, frutas, tabaco, té, café, frutos secos, cereales y arroz, y requiere energía a baja temperatura (Khatri et al., 2024).

El secado al vacío es un proceso eficaz para crear concentrados y polvos secos de alta calidad, al tiempo que se conserva su sabor natural y su valor nutricional. El método se lleva a cabo en condiciones de presión reducida, lo que disminuye el punto de ebullición del agua y permite su evaporación a una temperatura más baja, evitando el daño térmico





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

del polvo generado. (Hasan et al., 2019). El método más utilizado y adaptable para secar productos líquidos es el secado por pulverización, mientras que el secado por congelación, también conocido como liofilización, es un procedimiento de secado que elimina la humedad y mantiene la estructura, el sabor y el contenido nutricional y bioactivo del producto mediante sublimación (Hasan et al., 2019). El secado en lecho fluidizado funciona mediante el suministro continuo de partículas húmedas para que entren en contacto con una superficie cálida o el soplado de aire caliente para mantener el material fluidizado. El secado en lecho fluidizado se utiliza en los sectores alimentario, farmacéutico y químico para secar polvos húmedos y cápsulas/partículas sólidas (Fathi et al., 2022).

II. Método novedoso de secado

Según la bibliografía, los métodos novedosos más importantes y utilizados para el secado son: liofilización por pulverización, campos eléctricos pulsados (PEF), secado por microondas, secado al vacío por microondas (MW), fluidización por microondas, secado por infrarrojos (IR), liofilización por infrarrojos, secado hidráulico conductivo y secado por fluidos supercríticos.

La liofilización por pulverización es una tecnología de secado novedosa y avanzada que conserva las propiedades y la calidad de una gran variedad de materiales, incluidos polvos, medicamentos y biomateriales. Este método combina los principios del secado por pulverización y la liofilización para lograr un secado rápido y preservar los materiales tratados, mientras que el procesamiento PEF consiste en aplicar pulsos de alto voltaje a los alimentos mantenidos entre dos electrodos, lo que constituye una técnica de secado innovadora que combina la tecnología PEF con el proceso de secado (Khatri et al., 2024).

El secado por microondas es un proceso revolucionario que utiliza energía de microondas para eliminar la humedad de las matrices alimentarias, manteniendo su calidad y características. Cuando los alimentos se exponen a las microondas, las ondas





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

electromagnéticas penetran en ellos y generan calor, lo que provoca la vaporización del agua (Fathi et al., 2022), mientras que los procesos de secado al vacío por microondas utilizan microondas con frecuencias de radio que oscilan entre 300 y 30 000 MHz como fuente de calor. El secado al vacío por microondas puede ser casi un 50 % más rápido y eficiente gracias al secado al vacío combinado (vacío a alta presión) que ayuda a eliminar la humedad (Fathi et al., 2022).

La fluidización por microondas sustituye a los productores de calor tradicionales en los secadores de lecho fluidizado. La radiación electromagnética es la fuente de energía, lo que provoca una vibración interna que calienta el material e induce la humedad desde el interior hacia el exterior (Fathi et al., 2022). Otro método de secado novedoso son las longitudes de onda IR (1-6 μm), que interactúan con la capa interior del producto, lo que provoca un aumento del calor y la evaporación de la humedad. Además, la radiación infrarroja lejana (FIR), que permite una dispersión homogénea del calor, se está utilizando como opción de secado. Por otro lado, la liofilización por infrarrojos (IFD) es una técnica especializada que mejora el proceso de secado combinando la luz infrarroja (IR) con los principios de la liofilización. La liofilización por infrarrojos calienta el material progresivamente durante el proceso de secado (Fathi et al., 2022).

El secado hidráulico conductivo (CHD) es un novedoso proceso de secado que transmite el calor directamente desde una superficie calentada al material. El material retiene el calor, lo que aumenta la temperatura interna y provoca la evaporación de la humedad. El secado con fluidos supercríticos también se considera un método revolucionario para la fabricación de polvos. Tiene múltiples aplicaciones, entre las que se incluyen los zumos de fruta en polvo para bebidas instantáneas, la fabricación de alimentos y los suplementos dietéticos. El CO_2 se emplea como fluido supercrítico, ya que presenta propiedades líquidas y gaseosas a presiones y temperaturas específicas. La temperatura y





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

la presión se regulan para expandir el fluido supercrítico, lo que da lugar a la precipitación de los componentes y a la separación del CO₂ del polvo seco. El CO₂ es naturalmente no tóxico, lo que hace que esta técnica sea ideal para crear productos de alta pureza. La mínima exposición al calor reduce la oxidación, manteniendo la frescura y el color del polvo.

Microencapsulación

La tecnología de microencapsulación conserva las sustancias químicas bioactivas al empaquetar los componentes sólidos, líquidos y gaseosos en una película continua y formar cápsulas de tamaño micrométrico a milimétrico. La microencapsulación se emplea comúnmente en las industrias farmacéutica y alimentaria por su capacidad para (i) reducir las reacciones de oxidación en los materiales e es del núcleo expuestos a elementos externos como el calor, la humedad, el aire y la luz; (ii) reducir los subproductos; y facilitar la transferencia bioactiva (Comunian et al., 2021).

Los procedimientos de encapsulación más comunes para los componentes alimentarios incluyen el secado por pulverización, el enfriamiento por pulverización, la coacervación compleja, la gelificación iónica y la emulsificación.

- *Secado por atomización* (atomización)
- *Enfriamiento por pulverización* (enfriamiento por pulverización, congelación por pulverización o granulación).
- *Coacervación compleja*
- *Gelificación iónica*
- *Emulsificación Agentes encapsulantes*

Se han utilizado diversos materiales para la encapsulación, entre ellos polisacáridos como la goma arábiga, la maltodextrina y los almidones modificados; proteínas como el aislado y el concentrado de proteína de suero, la gelatina, la proteína de soja, la caseína y el suero de leche; y lípidos como el aceite vegetal y las grasas hidrogenadas. La





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

maltodextrina y la goma arábica se emplean habitualmente como agentes portadores para el secado por pulverización debido a su bajo coste y disponibilidad.

En cuanto a los subproductos, actualmente se siguen dos vías para obtener alternativas sostenibles. Así, se utilizaron materiales procedentes de subproductos alimentarios como agentes encapsulantes, o se utilizó la encapsulación para incorporar subproductos alimentarios en los alimentos.

En la primera dirección, recientemente se han utilizado como agentes portadores el orujo de manzana, la piel de plátano, el salvado de avena, la remolacha azucarera, el aceite de aguacate y la levadura de cerveza usada. Sin embargo, los estudios han demostrado que la microencapsulación de varios ingredientes, como el orujo de cereza ácida, el extracto de semilla de uva, el extracto de piel de manzana polifenólica, el extracto de hoja de olivo, el extracto de cáscara de granada y el aceite de semilla de granada, ha dado lugar con éxito a alimentos funcionales (Comunian et al., 2021, Borah et al., 2023).

Nanotecnología

Con la ayuda de la nanotecnología, los residuos agrícolas pueden redefinirse como un recurso valioso a la vanguardia de la innovación sostenible, en lugar de como una carga para el medio ambiente.

Utilizando química verde, biocatalizadores y nanocompuestos biodegradables, los residuos agrícolas se reciclan en una amplia gama de productos, como biocombustibles, nanofertilizantes, bioplásticos y sofisticados sistemas de almacenamiento de energía. Además de reducir los residuos, esto abre nuevas fuentes de ingresos y refuerza la economía circular al crear oportunidades económicas en todos los sectores. Uno de los pasos más importantes hacia el crecimiento sostenible es el potencial de la tecnología para transformar los materiales de desecho en productos de alto rendimiento y respetuosos con el





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

medio ambiente. La nanotecnología tiene aplicaciones en la conversión de biomasa, se utiliza como técnica bioquímica para la valorización de residuos, mientras que los catalizadores a nanoescala se utilizan para procesos termoquímicos (Balakrishnan Preethi et al., 2024).

Diferentes técnicas de secado y técnicas de secado híbridas recomendadas para estabilizar las propiedades funcionales y nutricionales

Los últimos avances en tecnología de secado tienen como objetivo aumentar la vida útil y la estabilidad de almacenamiento de los productos alimenticios mediante la búsqueda de un sustituto viable de los conservantes artificiales. Sin embargo, debido a que los fitoconstituyentes son sensibles al calor, el proceso de secado puede provocar su distorsión y degradación.

Por lo tanto, los estudios demuestran que es esencial encontrar los métodos de secado adecuados para producir nuevos productos con texturas secas altamente porosas, alta retención de ingredientes activos, alto rendimiento de secado y alta conservación de fitoconstituyentes, así como una mayor eficiencia energética, bajo coste y operaciones seguras para el medio ambiente (Fathi, F. et al., 2022; Siddiqui S.A., et al., 2024).

Por ejemplo, se utilizó un método de secado con bomba de calor para el orujo de uva y se concluyó que los cambios en la velocidad del aire aumentan el rendimiento y proporcionan una técnica rentable, aunque provocan una degradación del trans- resveratrol, la catequina y la epicatequina. Por otro lado, al cambiar la velocidad del aire de 1,5 a 2,5 m/s, el rendimiento del secado aumentó del 50 % al 69 %, y el consumo de energía y el tiempo de secado disminuyeron significativamente (Taşeri et al., 2018). Se secaron zanahorias cortadas en cubitos mediante secado por microondas/lecho fluidizado y los autores concluyeron que la eliminación del contenido de humedad aumentaba en comparación con el mecanismo convencional, se observó una buena retención de las propiedades fisicoquímicas y biológicas en comparación con el secador de lecho fluidizado

54



Co-funded by
the European Union



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

y se conservaron bien el color inicial, el sabor y la calidad uniforme (Stanisławski, 2005).

Los métodos de secado pueden contribuir a un bajo rendimiento de secado, altos costes operativos y un fuerte impacto medioambiental. Además, pueden afectar al valor nutricional de los macronutrientes presentes en los alimentos, como las proteínas, los almidones, las gomas y las fibras dietéticas, a la integridad de las estructuras de los alimentos y a sus propiedades funcionales.

La estabilización de los atributos funcionales y nutricionales de las macromoléculas puede realizarse mediante:

- comprender la correlación entre la técnica de secado utilizada y los atributos funcionales y nutricionales;
- la optimización de los parámetros operativos de los diferentes métodos de secado;
- empleando técnicas de secado híbridas (combinación de varias técnicas) y mecanismos de pretratamiento.

El secado mediante métodos convencionales, como el secado al sol o al aire libre, es un proceso lento y puede dar lugar a productos de calidad inferior debido a la contaminación. Se han desarrollado con éxito en todo el mundo diversas técnicas avanzadas de secado (microondas, vacío, infrarrojos, congelación, secado en horno y diferentes tecnologías de secado híbridas).

Para elegir el método de secado adecuado, es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

- la calidad del producto;
- la reducción del tiempo de secado;
- la eficiencia energética;
- rentabilidad global.





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

Estrategias para aumentar la funcionalidad de los productos alimenticios durante el secado y los subproductos

Las principales estrategias para aumentar la funcionalidad de los productos alimenticios durante el secado se dividen, según Betoret et al., 2016, en tres grupos:

1. Adición de ingredientes que protegen la degradación de los compuestos bioactivos.

Se han añadido diversos protectores al medio de secado antes de la liofilización o el secado por atomización para proteger la viabilidad de los probióticos durante la deshidratación, entre ellos leche desnatada en polvo, proteína de suero, trehalosa, glicerol, betaína, adonitol, sacarosa, glucosa, lactosa y polímeros, como el dextrano y el polietilenglicol (Morgan et al., 2006). Betoret et al., 2016, muestran que los efectos beneficiosos de los protectores parecen estar relacionados con su efecto protector sobre las proteínas y las membranas celulares.

2. Creación de elementos estructurales que protegen/mantienen la funcionalidad de los compuestos bioactivos.

Encapsulación: puede contribuir a aumentar la vida útil del producto; aumentar la funcionalidad, promover la liberación controlada del compuesto bioactivo encapsulado en el lugar de destino y mantener sus propiedades protegiendo sus compuestos bioactivos. En su mayoría, la cápsula se compone principalmente de *polisacáridos (inulina y povidex)*, *proteínas y sus combinaciones* para la microencapsulación de componentes antioxidantes y probióticos.

Películas y recubrimientos comestibles: pueden actuar como portadores de compuestos bioactivos funcionales antioxidantes y/o con propiedades antimicrobianas, bacterias con efecto probiótico o antimicrobiano y otros componentes que aumentan el valor del producto al prolongar la vida útil del alimento y proteger sus propiedades

56



Co-funded by
the European Union



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

fisicoquímicas, al tiempo que mantienen su integridad mecánica y sus características de manipulación.

La impregnación al vacío también puede utilizarse para mitigar el efecto de secado mediante la introducción de compuestos protectores como *azúcares*, *alcoholes de azúcar* y *azúcares no reductores en la matriz alimentaria*.

3. *Prevención de reacciones que provocan la degradación de compuestos bioactivos y promoción de aquellas que dan lugar a un efecto funcional.*

El secado al vacío y el secado al vacío por ultrasonidos, el secado por microondas, el secado asistido por ultrasonidos, la liofilización y el secado con vapor sobrecalentado a baja presión contribuyen a:

- la reducción de la oxidación de los lípidos en el pescado y la carne;
- la reducción de las pérdidas de pigmentos, vitamina C, compuestos fenólicos y otros ingredientes menores debido a la oxidación en frutas y verduras;
- la reducción de la oxidación de los carotenoides, mediante el secado con aire caliente a temperaturas inferiores a 60 °C, el secado al vacío y el secado con vapor sobrecalentado a baja presión.

Estas estrategias pueden aplicarse independientemente de que la fuente de compuestos bioactivos esté presente de forma natural en la matriz alimentaria o se derive de la recuperación de residuos alimentarios.





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

Capítulo 10: Bioaccesibilidad y biodisponibilidad de los compuestos bioactivos a través de la digestión in vivo e in vitro

La evaluación de la bioaccesibilidad y la biodisponibilidad de los compuestos bioactivos se ha convertido en una piedra angular de la ciencia nutricional, especialmente en el contexto del desarrollo de alimentos funcionales y nutraceuticos. Los compuestos bioactivos, como los polifenoles, los carotenoides, los glucosinolatos y los péptidos, son ampliamente reconocidos por sus posibles beneficios para la salud; sin embargo, su eficacia fisiológica depende en gran medida de su liberación de la matriz alimentaria durante la digestión y de su posterior absorción y metabolismo en el cuerpo humano (Parada y Aguilera, 2007).

El término «bioaccesibilidad» se refiere a la fracción de un compuesto que se libera de la matriz en el tracto gastrointestinal y queda disponible para su absorción, mientras que la «biodisponibilidad» abarca la fracción que realmente llega a la circulación sistémica y ejerce un efecto biológico (Carbonell-Capella, et al, 2014). Estos conceptos son especialmente importantes en el estudio de los polifenoles y otros fitoquímicos cuyos beneficios para la salud están bien documentados, pero cuya absorción sigue siendo variable y, a menudo, baja (Dima y Dima, 2020).

Para investigar estos fenómenos, los modelos de digestión in vitro se han estandarizado y adoptado cada vez más. Uno de los hitos más significativos en este campo ha sido el desarrollo del método INFOGEST, un modelo in vitro estático validado internacionalmente que simula las fases oral, gástrica e intestinal de la digestión humana. El protocolo consensuado publicado inicialmente por Minekus et al. (2014; 2015) proporcionó un marco reproducible y armonizado para los investigadores de todo el mundo (Figura 1). Más tarde, Brodkorb et al. (2019) actualizaron y perfeccionaron este método, consolidando su aplicación para diferentes matrices alimentarias y permitiendo



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

la comparabilidad de los resultados entre laboratorios. Este enfoque ha resultado fundamental para predecir el comportamiento de los bioactivos en condiciones digestivas, evaluando su estabilidad, transformación y potencial de absorción.

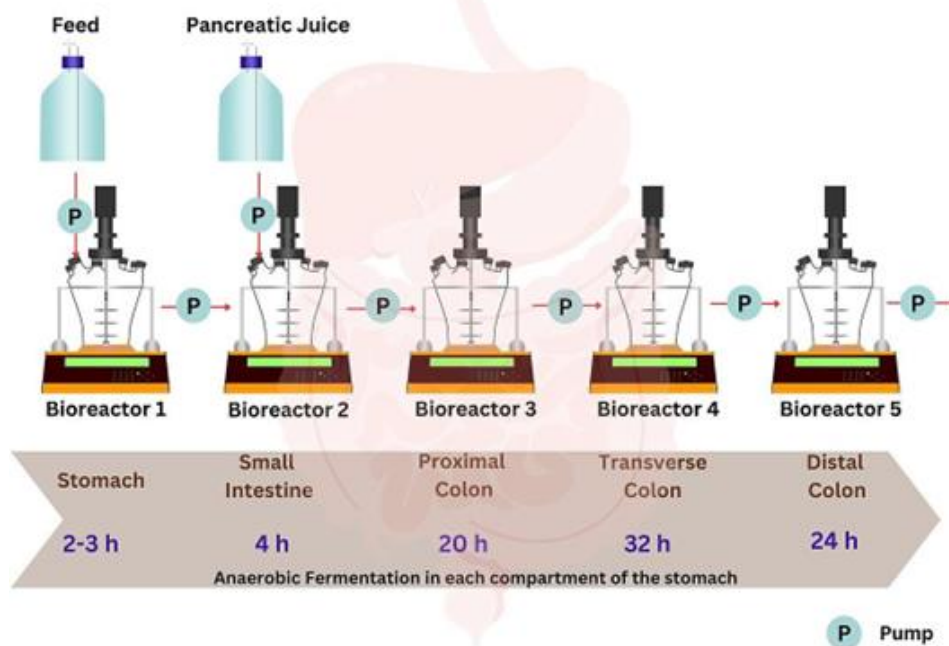


Figura 1. Descripción simplificada del modelo de digestión in vitro (Fuente: LAMBDA Instruments GmbH, LAMBDA Instruments GmbH)

Paralelamente, los estudios in vivo siguen desempeñando un papel fundamental en la comprensión de los complejos mecanismos que rigen el destino de los compuestos bioactivos. Estas investigaciones suelen utilizar modelos humanos o animales para evaluar no solo la absorción, sino también el metabolismo, la distribución y la excreción de los compuestos. Rein et al. (2013) y los muy citados Manach et al. (2005) ofrecieron una



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

revisión exhaustiva de la biodisponibilidad de los polifenoles, destacando las controversias en torno a su absorción y transformación metabólica, así como la importancia de las reacciones de conjugación en el hígado y las biotransformaciones mediadas por la microbiota intestinal. Más recientemente, Williamson (2025) ofrece una perspectiva actualizada sobre la biodisponibilidad de los polifenoles en la dieta, destacando el papel fundamental del metabolismo mediado por la microbiota intestinal, las reacciones de conjugación hepática y los sistemas de administración innovadores, como la nanoencapsulación, para mejorar la absorción sistémica. Bié et al. (2023) exploraron más a fondo la interacción entre los polifenoles y la microbiota intestinal, haciendo hincapié en cómo las transformaciones microbianas pueden modular tanto la bioaccesibilidad como la eficacia biológica de estos. Visvanathan et al. (2022) revisaron los múltiples factores que influyen en la bioaccesibilidad y la biodisponibilidad de los polifenoles cítricos, proporcionando una hoja de ruta para el diseño de modelos *in vitro*, estudios en animales y ensayos clínicos en humanos. Estas contribuciones actualizadas no solo confirman la naturaleza compleja del metabolismo de los compuestos bioactivos, sino que también subrayan la importancia de los enfoques integradores —que combinan la digestión *in vitro*, los modelos de absorción celular y la metabolómica— para salvar la brecha entre la ingestión y los resultados para la salud.

Un número cada vez mayor de estudios combina ahora la digestión *in vitro* con modelos de absorción celular (por ejemplo, monocapas Caco-2) (Figura 2) y herramientas metabolómicas para salvar la brecha entre la digestión simulada y la disponibilidad sistémica (Kalintas Caglar et al., 2024; Pinto et al., 2024; Redha et al., 2025; Serena-Romero et al., 2023; Villalba et al., 2022).



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

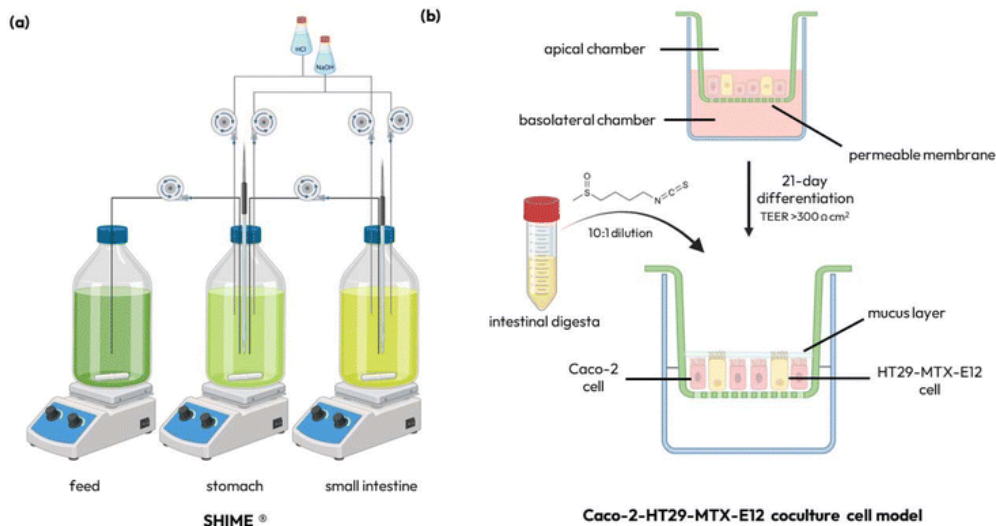


Figura 2. (a) Digestión gastrointestinal dinámica in vitro y (b) absorción intestinal in vitro basada en el modelo celular de cocultivo Caco-2-HT29-MTX-E12. (Imagen de Redha et al, 2025, con CC BY, <https://doi.org/10.1039/D4FO03446E>)

El impacto de la matriz alimentaria es otro factor clave que modula la bioaccesibilidad y la biodisponibilidad (Parada y Aguilera, 2007). Las técnicas de encapsulación, la emulsificación y la coingestión con grasas alimentarias se encuentran entre las estrategias exploradas para mejorar la administración y la absorción de compuestos poco solubles, como los carotenoides y las vitaminas lipofílicas. Las investigaciones recientes se han centrado en el desarrollo de ingredientes funcionales a partir de subproductos agroindustriales ricos en bioactivos. Algunos ejemplos de estas aplicaciones de subproductos agroindustriales pueden leerse en Rocchetti et al. (2021), que examinaron cómo la incorporación de pulpa de uva en polvo al pan de trigo afecta a la bioaccesibilidad de los compuestos fenólicos y a la digestibilidad del almidón durante la digestión simulada, o en Costa et al., que evaluaron los cambios en la composición química y la bioactividad del extracto de pulpa de uva Syrah durante la digestión in vitro. El estudio de Hou et al. (2018) investigó cómo la digestión simulada afecta al contenido de



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

flavonoides y a la actividad antioxidante en cáscaras de mandarina secas frescas y añejas. En cuanto a los subproductos de la naranja, Lu et al. (2020) compararon la bioaccesibilidad de extractos de cáscara de cítricos envejecidos encapsulados en diversos sistemas basados en lípidos utilizando diferentes modelos de digestión *in vitro*. Otro estudio evaluó cómo la digestión gastrointestinal *in vitro* afecta a la bioaccesibilidad y la capacidad antioxidante de los compuestos bioactivos en harinas de tomate producidas mediante diferentes métodos de extracción (Coelho et al., 2021). Desde el punto de vista del efecto de los procesos tecnológicos, como la extrusión, para mejorar la bioaccesibilidad de los compuestos bioactivos de origen vegetal, las contribuciones del Dr. Martínez-Monzó y sus colegas, por ejemplo, demuestran cómo las condiciones de procesamiento pueden modular la liberación y la estabilidad de estos bioactivos a partir de subproductos (Igual et al., 2021; Igual et al., 2022; Igual et al., 2023; Peñaranda et al., 2025; Sarmiento-Torres, et al., 2025).

Sigue siendo difícil correlacionar los resultados *in vitro* con los resultados *in vivo*, especialmente si se tiene en cuenta la variabilidad individual, la composición de la microbiota intestinal y la capacidad de biotransformación de las enzimas del huésped. No obstante, el método INFOGEST sigue perfeccionándose, con versiones que ahora incorporan la fermentación colónica simulada, las variaciones de las sales biliares y las modificaciones específicas para cada edad. La integración de estos modelos de digestión con técnicas ómicas y estudios avanzados de biodisponibilidad será esencial para traducir los hallazgos de laboratorio en recomendaciones nutricionales prácticas.

La aplicación integrada de metodologías de digestión *in vitro* e *in vivo* ofrece un marco sólido para explicar la bioaccesibilidad y la biodisponibilidad de los compuestos bioactivos. Este enfoque tiene importantes implicaciones para las recomendaciones dietéticas, la formulación de alimentos funcionales y los avances en la nutrición de la salud pública. A medida que las técnicas analíticas y los modelos experimentales siguen

62



Co-funded by
the European Union



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

evolucionando, el campo avanza hacia una comprensión más completa y precisa de las interacciones entre los componentes de los alimentos y el sistema digestivo humano, lo que posteriormente influye en los resultados de salud.

Capítulo 11: Desarrollo sostenible de productos. Obtención de nuevos alimentos a partir de subproductos de la cadena agroalimentaria para la salud y la nutrición humanas (alimentos funcionales, nutraceuticos, proteínas vegetales, suplementos, prebióticos y probióticos).

La industria agroalimentaria genera una cantidad significativa de subproductos que, si se utilizan adecuadamente, pueden transformarse en alimentos funcionales, nutraceuticos, proteínas vegetales, suplementos, prebióticos y probióticos, lo que contribuye tanto a la reducción de residuos como a la salud humana. Estos subproductos son ricos en compuestos bioactivos, como antioxidantes, fibras dietéticas y polifenoles, que ofrecen diversos beneficios para la salud, entre ellos efectos antioxidantes, antiinflamatorios y prebióticos. El desarrollo de productos alimenticios sostenibles a partir de estos subproductos se ajusta al enfoque de cero residuos, promoviendo la economía circular en la industria alimentaria.

11.1. Alimentos funcionales

La industria agroalimentaria genera importantes subproductos que pueden reutilizarse en alimentos funcionales, ricos en compuestos bioactivos y con beneficios para la salud (Galanakis, 2021).

11.1.1. Yogur probiótico enriquecido con extractos de cáscara de fruta

Los subproductos como las cáscaras de naranja, granada y plátano son ricos en compuestos bioactivos, incluidos polifenoles y antioxidantes, que contribuyen a la salud





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

intestinal y mejoran la viabilidad de los probióticos en los productos lácteos fermentados. Estudios recientes indican que el yogur suplementado con extractos de cáscara de fruta presenta una mayor eficacia probiótica y una mayor actividad antioxidante (Shahidi y Ambigaipalan, 2015).

11.1.2. Pan enriquecido con harina de semillas de uva

El uso de semillas de uva, un subproducto de la elaboración del vino, como sustituto de la harina en la panificación se ha mostrado prometedor para mejorar las propiedades funcionales del pan. La harina de semillas de uva es rica en polifenoles, ácidos grasos omega-6 y fibra dietética, lo que ofrece posibles beneficios para la salud cardiovascular y mejora el control glucémico (López-Caballero et al., 2022).

11.1.3. Pastelería con pulpa de uva en polvo (galletas, pasteles, bollos)

En un estudio reciente realizado en la Facultad de Ingeniería Alimentaria (ULST) (Poiana et al., 2023), se desarrollaron tres tipos de productos de panadería —galletas, pasteles y bollos— utilizando harina de trigo espelta y diferentes porcentajes de orujo de uva (GP) (Figura 11.1). El objetivo era evaluar el potencial del orujo de uva como sustituto parcial de la harina de trigo espelta en recetas de pastelería enriquecidas.

Los resultados de este estudio proporcionan pruebas convincentes de la viabilidad de incorporar GP en productos de panadería. Como fuente rica en compuestos fenólicos y con una alta actividad antioxidante, el GP mejoró significativamente el valor nutricional de los productos finales. Concretamente, las galletas, pasteles y panecillos enriquecidos con pulverizado de GP mostraron un perfil nutricional mejorado en comparación con las muestras de control, especialmente en lo que respecta al contenido de lípidos y cenizas. Esto sugiere que el GP puede utilizarse eficazmente para enriquecer productos de panadería, lo que no solo ofrece mayores beneficios nutricionales, sino que también contribuye a las propiedades funcionales de estos productos alimenticios.



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

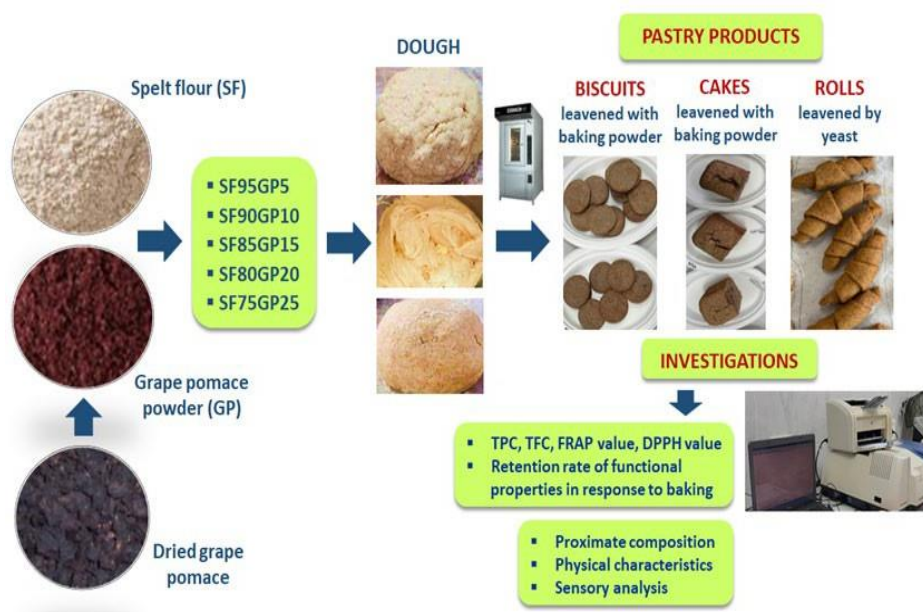


Figura 11.1. Productos de pastelería con orujo de uva (Poiana et al., 2023)

11.1.4. Baguette con grano usado de cerveza

El grano usado de cerveza (BSG), un subproducto de la producción de cerveza, es una potente fuente de proteínas, fibra dietética y compuestos prebióticos.

Como parte de la iniciativa EITFOOD RIS Consumer Engagement Labs, la Facultad de Ingeniería Alimentaria (ULS Timisoara) ha colaborado con Prospero para desarrollar un novedoso producto alimenticio funcional denominado **Brewer's Baguette** (Figura 11.2). Este producto ya está disponible en el mercado de Timisoara.

Brewer's Baguette es un pan hipoglucémico enriquecido con fibra, elaborado a partir de la valorización de las raíces de malta, un subproducto de la industria cervecera.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

La inclusión de las raíces de malta no solo mejora el perfil nutricional del pan, sino que también contribuye a sus propiedades funcionales, como la reducción de los niveles del índice glucémico.

Además de sus beneficios para la salud, Brewer's Baguette destaca por ser un producto sostenible. Al utilizar raíces de malta, que de otro modo se desecharían, este pan contribuye a la reducción de residuos y apoya los principios de la economía circular. El desarrollo de productos alimenticios tan innovadores y sostenibles está en consonancia con los esfuerzos mundiales por promover la eficiencia de los recursos y la responsabilidad medioambiental en los sistemas alimentarios (<https://tim7.ro/bagheta-berarului/>).



Figura 11.2. Baguette Brewer's

11.1.5. Pasta a base de orujo de tomate

El procesamiento del tomate genera importantes subproductos, como la piel y las semillas del tomate, que son ricas en licopeno, un potente antioxidante, y en fibra dietética. El enriquecimiento de la pasta con pulpa de tomate mejora su perfil nutricional, lo que contribuye tanto a la salud cardiovascular como a la protección antioxidante, y varios estudios respaldan los beneficios de estos productos para la salud de los consumidores (Wadhwa y Bakshi, 2013).

11.1.6. Galletas enriquecidas con omega-3 procedente de subproductos del pescado





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

El procesamiento del pescado genera subproductos como piel, espinas y recortes, que son ricos en ácidos grasos omega-3 y péptidos bioactivos. Estos subproductos pueden incorporarse a productos de panadería, como las galletas, que, cuando se consumen con regularidad, pueden aportar importantes beneficios para la salud cardiovascular y cognitiva (López-Caballero et al., 2022).

11.1.7. Salchichas con semillas de tomate y pimienta

Estudios recientes han demostrado el importante potencial de los subproductos del procesamiento de verduras, en particular las semillas, en el desarrollo de productos cárnicos de valor añadido. Estos subproductos han demostrado ser especialmente eficaces debido a su capacidad antioxidante (Cocan et al. (2022); Cadariu et al. (2022)).

Los subproductos del procesamiento del pimienta y el tomate mejoran las formulaciones cárnicas, concretamente en la creación de salchichas sin nitritos. Los subproductos del tomate y el pimienta pueden sustituir eficazmente al nitrito de sodio en las salchichas de cerdo, ya que ofrecen un potencial antioxidante comparable. Esta sustitución no solo mejora el perfil antioxidante de las salchichas, sino que también promueve el uso de estos subproductos como aditivos naturales para prevenir o retrasar la degradación oxidativa en las formulaciones de salchichas sin nitritos. Además, la investigación hizo hincapié en la idoneidad de estos subproductos del procesamiento de vegetales en diversos procesos tecnológicos, como el ahumado, el secado y el escaldado, lo que confirma su eficacia para mejorar la calidad y la vida útil de los productos cárnicos (Cocan et al. (2022); Cadariu et al. (2022)).

11.2. Nutraceuticos

Los nutraceuticos son productos alimenticios que aportan beneficios para la salud más allá de la nutrición básica. Pueden derivarse de frutas, verduras, cereales u otros procesos agrícolas, y están enriquecidos con compuestos bioactivos que ofrecen beneficios





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

específicos para la salud, como mejorar la digestión, reforzar el sistema inmunitario o reducir el riesgo de enfermedades crónicas.

11.2.1. Nutracéuticos a base de frutas.

El orujo de manzana, un subproducto de la producción de zumo de manzana se utiliza para crear productos nutracéuticos. El orujo de manzana contiene fibra dietética, antioxidantes y polifenoles, que son beneficiosos para la salud digestiva y tienen efectos antiinflamatorios. Las empresas europeas están trabajando en el desarrollo de estos subproductos para convertirlos en alimentos funcionales o suplementos que promuevan la salud cardíaca y la función intestinal (Kołodziejczyk K, et al., 2007).

El escaramujo se utiliza ampliamente para crear productos nutracéuticos, en particular a partir de los subproductos de su procesamiento. Las semillas y la piel del escaramujo, que a menudo se desechan, son ricas en vitamina C, antioxidantes y ácidos grasos esenciales, que se utilizan en suplementos y alimentos funcionales que refuerzan la salud inmunitaria, reducen la inflamación y mejoran la salud de la piel (Vlaicu PA, et al., 2022).

11.2.2. Nutracéuticos derivados de subproductos de cereales.

Harina de gluten de maíz, un nutracéutico hidrolizado enzimáticamente, que produce péptidos con propiedades antioxidantes que pueden reducir la oxidación de los lípidos y tener potencial para combatir el cáncer.

(<https://agris.fao.org/search/en/providers/122535/records/65deeb9f0f3e94b9e5d2bfc4>)

- **El germen de maíz** es rico en fitoesteroles, que pueden ayudar a reducir los niveles de colesterol, y en tocoferoles (vitamina E), que actúan como antioxidantes (Deepak TS, 2022).
- **La seda de maíz** contiene maysina, un compuesto fenólico con efectos antiinflamatorios y posibles beneficios para el control del peso (Sarepoua, E.; 2013).





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

- **El salvado de trigo** es una fuente rica en fibra dietética y se ha demostrado que ayuda a la digestión, regula el azúcar en sangre y reduce el riesgo de enfermedades cardíacas.

(<https://www.healthline.com/nutrition/wheat-bran>)

- **El trigo bulgur**, elaborado a partir de trigo duro integral triturado, es rico en fibra y nutrientes que ayudan a la digestión y favorecen la salud cardíaca.
- **El salvado de arroz** contiene orizanol, un compuesto que puede ayudar a reducir los niveles de colesterol, así como antioxidantes que favorecen la salud en general (Myrdal Miller, A.; 2014).
- **El salvado de cebada** es una buena fuente de fibra beta-glucano, que tiene efectos reductores del colesterol y es beneficiosa para la salud del corazón (Ousager LB, 2012).

11.3. Proteínas de origen vegetal

La utilización de subproductos de la cadena agroalimentaria como fuentes de proteínas de origen vegetal está ganando una gran atención en la industria alimentaria. Estos subproductos, derivados del procesamiento de semillas oleaginosas, cereales, legumbres y frutas y verduras, ofrecen alternativas proteicas sostenibles con beneficios funcionales y nutricionales.

- **Las hamburguesas de proteína de soja y guisantes** son una alternativa vegetal a la carne. Se trata de sustitutos de la carne enriquecidos con proteína extraída de la harina de soja y los residuos del procesamiento de guisantes. Estas proteínas mejoran la textura y la calidad nutricional, al tiempo que reducen la dependencia de las fuentes de proteína animal (Sharma et al., 2023).
- **Salchichas a base de habas y altramuces:** la incorporación de proteínas procedentes de subproductos de legumbres mejora la digestibilidad y la





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

biodisponibilidad de las proteínas en las formulaciones de salchichas de origen vegetal (Galanakis, 2021).

- **Pan enriquecido con harinas de semillas oleaginosas:** La incorporación de harina de semillas de girasol, colza o cáñamo como fuente de proteínas y fibra en las formulaciones de pan enriquecido (Poiana et al., 2023).
- **Galletas proteicas sin gluten:** uso de proteína de garbanzo y lenteja procedente de subproductos de la molienda para mejorar el contenido proteico de los productos de panadería sin gluten (López-Caballero et al., 2022).
- **Yogures de origen vegetal:** utilización de aislados de proteína procedentes de subproductos del procesamiento de avena, arroz y almendras para desarrollar yogures sin lácteos con un mayor contenido de proteínas y propiedades bioactivas (Wadhwa y Bakshi, 2013).
- **Leches vegetales enriquecidas con proteínas:** Leches de almendra y coco fortificadas que incorporan proteínas de guisantes y cáñamo procedentes de residuos agroindustriales para mejorar el valor nutricional (Shahidi y Ambigaipalan, 2015).
- **Barritas proteicas a partir de subproductos de cereales:** Proteínas de salvado de trigo, salvado de arroz y orujo de fruta incorporadas a barritas proteicas para mejorar la saciedad y los beneficios nutricionales (Myrdal Miller et al., 2014).

11.4. Suplementos

El desarrollo de suplementos nutricionales a partir de subproductos de la cadena agroalimentaria es una estrategia sostenible e innovadora que mejora tanto la salud ambiental como la humana. Estos suplementos utilizan compuestos bioactivos, fibra dietética, proteínas y antioxidantes derivados de residuos vegetales y de la industria alimentaria para mejorar la nutrición. Numerosos estudios han destacado el importante





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

potencial de estos subproductos para crear suplementos funcionales que favorecen el bienestar general.

- Aislados de proteína de guisante y soja: extraídos de subproductos del procesamiento de legumbres, estas proteínas favorecen el crecimiento muscular y la saciedad (Galanakis, 2021).
- Proteínas en polvo de cáñamo y semillas de lino: ricas en aminoácidos esenciales y omega-3, beneficiosas para la salud cardiovascular y metabólica (Shahidi y Ambigaipalan, 2015).
- Suplementos de proteína de salvado de arroz: subproducto del molido del arroz, la proteína de salvado de arroz ofrece una nutrición vegetal hipoalergénica (López-Caballero et al., 2022).
- Cápsulas de fibra de avena y salvado de trigo: contienen β -glucanos, que favorecen la salud intestinal, la reducción del colesterol y la regulación del azúcar en sangre (Wadhwa y Bakshi, 2013).
- Pulverizado de pulpa de fruta (manzana, uva, cítricos): fuente natural de pectina y polifenoles, que favorece la salud digestiva y la actividad prebiótica (Poiana et al., 2023).
- Cápsulas de extracto de semilla de uva: una fuente rica en proantocianidinas, conocidas por sus beneficios antienvjecimiento, cardiovasculares y para la salud cognitiva (Shahidi y Ambigaipalan, 2015).
- Extracto de cáscara de granada: contiene ácido elágico y polifenoles, eficaces para reducir la inflamación y mejorar la salud de la piel (López-Caballero et al., 2022).

11.5. Prebióticos y probióticos

El desarrollo de suplementos prebióticos y probióticos a partir de subproductos de la cadena agroalimentaria se ajusta a los principios de sostenibilidad y mejora la salud





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

humana. Estos subproductos, ricos en fibra dietética, oligosacáridos y compuestos favorables a la fermentación, son excelentes sustratos para el apoyo a la microbiota intestinal.

11.5.1. Prebióticos procedentes de subproductos agroalimentarios

Los prebióticos son componentes alimenticios no digeribles que promueven el crecimiento de bacterias intestinales beneficiosas, mejorando la digestión y la función inmunológica.

- Inulina y fructooligosacáridos (FOS): extraídos de la raíz de achicoria, la alcachofa de Jerusalén y las cáscaras de cebolla, estos compuestos mejoran la diversidad de la microbiota intestinal (Galanakis, 2021).
- Pectina del orujo de fruta: presente en el orujo de manzana, cítricos y uva, la pectina actúa como prebiótico que mejora la salud intestinal y el metabolismo del colesterol (Shahidi y Ambigaipalan, 2015).
- Arabinosilanos del salvado de cereales: derivados del salvado de trigo, centeno y avena, estas fibras favorecen la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC), lo que beneficia la salud intestinal (Wadhwa y Bakshi, 2013).
- Almidón resistente de la piel del plátano y la patata: fibra fermentable que alimenta las bacterias intestinales beneficiosas y favorece la regulación del azúcar en sangre (López-Caballero et al., 2022).

11.5.2. Probióticos procedentes de subproductos agroalimentarios

Los probióticos son microorganismos vivos que contribuyen a la salud intestinal mejorando la digestión y la función inmunitaria.

- Subproductos lácteos fermentados (suero de leche, suero de mantequilla): proporcionan cepas de *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, que mejoran el equilibrio de la microbiota intestinal (Galanakis, 2021).





UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

- Subproductos fermentados del salvado de arroz y los cereales: contienen bacterias del ácido láctico (BAL) que mejoran la salud digestiva y la función inmunitaria (Myrdal Miller et al., 2014).
- Kombucha y residuos de fruta fermentada: elaborados a partir de té, pieles de manzana y corazones de piña, contienen levaduras y probióticos que favorecen la digestión y el metabolismo (Cocan et al., 2022).

Capítulo 12: Desarrollo de envases sostenibles. Obtención de envases biodegradables y comestibles a partir de subproductos de la cadena agroalimentaria P3 (TM)

En el contexto mundial actual, caracterizado por una creciente preocupación por la sostenibilidad y la gestión eficiente de los recursos, la recuperación de los subproductos de la cadena agroalimentaria es una dirección clave para promover una economía circular y reducir significativamente los residuos.

Los subproductos agroalimentarios se definen como materiales resultantes de los procesos de producción de alimentos, que no están destinados al consumo humano directo, pero que pueden transformarse mediante tecnologías adecuadas. Incluyen una amplia gama de materias primas, como cáscaras, tallos, granos, suero, salvado, así como restos vegetales o animales. El uso eficiente de estos materiales es fundamental para reducir el desperdicio de alimentos y los impactos ambientales negativos, al tiempo que contribuye al desarrollo de sistemas agroalimentarios más sostenibles. El envasado de alimentos es una parte esencial del sector de la industria alimentaria. Sin embargo, el sector del envasado de alimentos busca ahora envases biodegradables ligeros para reducir el uso de materiales, los residuos y los costes de transporte.

Los principales subproductos que se pueden obtener del sector agroalimentario son:





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

- Cereales: salvado, almidón, germen, residuos de procesamiento, etc.
- Frutas y hortalizas: cáscaras, semillas, pieles, pulpa, orujo, etc.
- Industria láctea: suero, leche desnatada, suero de leche, etc.
- Industria cárnica: huesos, grasas, órganos, etc.
- Industria oleaginosa: tortas de semillas de girasol, tortas de semillas de colza, etc.

Dentro de la cadena de productos cerealeros, el procesamiento del trigo, el maíz y otros cereales genera salvado, germen y otros residuos ricos en fibra y otros compuestos bioactivos, que pueden utilizarse como materia prima para la producción de envases biodegradables.

El almidón es una buena fuente de material biodegradable para el envasado de alimentos, procedente del trigo, el maíz, el arroz y las patatas. Se considera ampliamente como un sustituto sostenible del plástico para el envasado de alimentos. Además, diversos alimentos, como frutas, verduras, aperitivos y productos secos, pueden envasarse utilizando almidón como película biodegradable (Kolybaba, M.; et al., 2016).

La industria de las frutas y verduras genera subproductos como cáscaras, semillas y orujo, que son el resultado del procesamiento de manzanas, peras, uvas, tomates y otras frutas y verduras. Son fuentes valiosas de celulosa, pectina y otros biopolímeros con potencial para aplicaciones de envasado. Material de envasado ecológico a base de ácido algínico y extracto de orujo de uva de *Vitis vinifera* L. (subproductos de la elaboración del vino) para almacenar carne roja en el frigorífico. Concretamente, las amins biógenas se consideran «centinelas» de los procesos de putrefacción (Aresta, A.M.; et al., 2023).

Los bioplásticos son alternativas ecológicas a los plásticos convencionales. Pueden ser de origen biológico, biodegradables o ambas cosas: fabricados a partir de biomasa y/o descompuestos por microorganismos en agua y CO₂.

Clasificación y ejemplos de plásticos (Zhao, X.; et al., 2023):





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

→ Derivados del petróleo y no biodegradables:

1. **PA:** poliamida
2. **PTT:** politrimetileno tereftalato
3. **PE:** polietileno
4. **PET:** tereftalato de polietileno
5. **PP:** polipropileno

→ Bioplásticos

Pueden ser **de origen biológico, biodegradables** o ambas cosas:

- **PLA:** ácido poliláctico
- **PHA:** polihidroxialcanoatos
- **PBS:** succinato de polibutileno
- **PBAT:** tereftalato de polibutileno adipato (*biodegradable, pero derivado del petróleo*)
- **PCL:** policaprolactona (*biodegradable, pero derivado del petróleo*)

La industria láctea produce grandes cantidades de suero, un subproducto resultante de la fabricación de queso. El suero contiene proteínas, lactosa y otros componentes que pueden utilizarse para crear películas y recubrimientos biodegradables. Según el Reglamento (CE) n.º 450/2009 de la Comisión Europea, «se entiende por materiales y objetos activos aquellos materiales y objetos destinados a prolongar la vida útil o a mantener o mejorar el estado de los alimentos envasados».

La industria láctea genera grandes volúmenes de residuos líquidos como subproducto durante el proceso de coagulación de la caseína. Este líquido, denominado suero lácteo, es un subproducto proteico de color verde amarillento y soluble en agua que se obtiene tras la extracción de la caseína en la elaboración del queso. Una forma posible de reciclar el suero lácteo es aprovechar su contenido proteico como fuente de biopolímeros para crear películas/recubrimientos comestibles en los alimentos (Yadav,





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

J.S.S.; et al., 2015). En la industria cárnica, las pieles de cerdo y vaca son las principales fuentes de gelatina, ya que son fáciles de obtener. Las fuentes de gelatina más utilizadas son la piel y el cartílago de cerdo (46 %), las pieles de bovino (29,4 %), los huesos (23,1 %) y otras fuentes (1,5 %). Las gelatinas extraídas de pieles de cerdo, aves y pescado y de residuos de pieles bovinas sin curtir, o subproductos, se utilizan para la producción de películas de envasado o recubrimientos comestibles (Nilsen-Nygaard, J., et al., 2021).

La industria de los aceites vegetales, que incluye el procesamiento de semillas de girasol, colza y soja, produce granos y otros residuos ricos en proteínas y fibra.

Propiedades de los recubrimientos comestibles obtenidos a partir de granos:

- permiten prolongar la vida útil de los productos alimenticios;
- proporcionan resistencia física y reducen el intercambio de humedad del producto;
- reducen la permeabilidad al oxígeno, evitando cambios químicos como la oxidación de los nutrientes (Serrapica, F.; et al., 2019).

Las tortas oleaginosas son los principales subproductos que se obtienen tras la extracción del aceite de las semillas. A continuación, se secan al aire para eliminar el agua antes de su almacenamiento. Las películas comestibles obtenidas a partir de tortas de aceite son adecuadas para el envasado si poseen fuertes propiedades estructurales, biológicas, ópticas y de barrera. Bloquean eficazmente los olores, el vapor, el aceite, el agua, el oxígeno y la luz para evitar la oxidación de los lípidos, la pérdida de humedad y la decoloración, preservando así la calidad y el aspecto del producto (Petru, A.; et al., 2021).

→ Biopolímeros a base de proteínas

- ❖ La torta de soja contiene proteína de soja y se utiliza para producir películas biodegradables con buenas propiedades mecánicas y de barrera.
- ❖ La torta de girasol es rica en proteína de girasol y es adecuada para la





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

formación de películas con una resistencia moderada al agua.

- ❖ La torta de colza (canola) contiene proteína de colza y se utiliza en la creación de películas comestibles que exhiben actividad antioxidante y antimicrobiana.
- ❖ La torta de cacahuete tiene un alto contenido en proteínas y se utiliza para fabricar películas biodegradables con buena flexibilidad.

→ Biopolímero compuesto

Tortas mixtas de semillas oleaginosas (por ejemplo, mezclas de soja y girasol): se utilizan para formular películas de biopolímeros compuestos combinando proteínas y fibras para mejorar el rendimiento mecánico y de barrera (Popović Senka, et al., 2020).

Capítulo 13: Economía circular y gestión de recursos. Aplicación de los principios de la economía circular en la agroalimentación. Optimización de la cadena de valor de la subproducción. Evaluación de la viabilidad económica de los procesos de reutilización.

13.1. Economía circular y gestión de recursos

El sector agroalimentario siempre ha sido uno de los principales generadores de residuos, especialmente si se tiene en cuenta la transformación y el procesamiento de materias primas a nivel industrial (Chiaraluce et al., 2023). Esto tiene actualmente un enorme impacto en los sistemas alimentarios. Esta producción tiene repercusiones medioambientales, económicas y sociales que afectan a la sostenibilidad de las cadenas de suministro agroalimentarias. Los sistemas alimentarios están muy involucrados en las trayectorias de sostenibilidad e global, con tendencias tanto en las prácticas de producción como de consumo que generan costes privados y sociales cada vez mayores, estos últimos a menudo externalizados a otros sectores, como la salud, el agua y el medio ambiente global.

77



Co-funded by
the European Union



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

La transición hacia una economía circular y sostenible ha suscitado un gran interés en los últimos años, especialmente en la industria alimentaria. La industria alimentaria es un sector ideal para iniciar esta transición debido a su elevado consumo de recursos y su importante contribución a la generación de residuos a nivel mundial. Sin embargo, el desperdicio de alimentos, la escasez de recursos y la degradación del medio ambiente son algunos de los retos globales que tienen un impacto significativo en el sistema mundial de producción de alimentos (Fazle Rabbi y Bin Amin, 2024).

La economía circular forma parte del concepto más amplio de economía verde, que implica recursos materiales totalmente reutilizables y reciclables (Tarhini et al., 2022). La idea de una economía circular ha cobrado protagonismo en la era moderna de la evolución industrial como estrategia revolucionaria para el crecimiento sostenible. La reutilización de los productos es una táctica clave en esta estrategia, ya que aumenta la eficiencia de los recursos, reduce los residuos y prolonga el ciclo de vida de los productos (Psarommatis y May, 2025).

La economía circular es un concepto basado en cambios en el comportamiento de los consumidores, las tecnologías y los modelos de negocio que dan prioridad a la longevidad, la reutilización, la reparación, la renovación, el intercambio, el alquiler y el reciclaje de productos y materiales para lograr un uso más eficiente de los recursos mediante el cierre, el rediseño, la ampliación y la reducción de los ciclos de flujo de materiales. Del mismo modo, el concepto de gestión sostenible de los materiales es un enfoque sistémico para utilizar y reutilizar los materiales de forma más productiva a lo largo de todo su ciclo de vida (Paulo de Sa y Korinek, 2021).

La economía circular es un modelo económico que tiene como objetivo minimizar los residuos y maximizar la utilización de los recursos. Esto contrasta con la economía lineal tradicional, que sigue un modelo de «tomar, fabricar, desechar» (Cahyadi et al., 2024).





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

La implementación de una economía circular permite un uso más eficiente de los recursos y una menor generación de residuos a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto, desde su fabricación hasta su consumo. Un enfoque integrado de la producción alimentaria, la agricultura y el comercio de alimentos contribuye a la expansión de las zonas rurales y puede promover la adopción de prácticas respetuosas con el medio ambiente (Fazle Rabbi y Bin Amin, 2024).

La gestión de la cadena de suministro implica la coordinación e integración de todas las actividades relacionadas con la producción y la entrega de un producto, desde la adquisición de materias primas hasta la entrega final al consumidor. Una gestión eficaz de la cadena de suministro tiene como objetivo aumentar la eficiencia, reducir los costes y mejorar la satisfacción del cliente. Los componentes clave incluyen el abastecimiento, la compra, la producción, la logística y la distribución, que deben gestionarse de forma coherente para garantizar un funcionamiento fluido (Cahyadi et al., 2024).

La integración de la economía circular en la gestión de la cadena de suministro implica incorporar principios circulares en los procesos de la cadena de suministro. Esta integración requiere rediseñar las actividades de la cadena de suministro para dar prioridad a la eficiencia de los recursos, reducir los residuos y prolongar la vida útil de los productos. Entre las prácticas se incluyen las cadenas de suministro de circuito cerrado, en las que los productos se devuelven para su reutilización, refabricación o reciclaje, y el abastecimiento sostenible para garantizar que los materiales sean respetuosos con el medio ambiente (Cahyadi et al., 2024).

13.2. Aplicación de los principios de la economía circular en el sector agroalimentario

En el contexto de los sistemas agrícolas y alimentarios, la agricultura circular tiende a denominarse bioeconomía circular para distinguirla de la circularidad en la fabricación, que tiende a depender más de recursos no renovables extraídos (Duncan et al., 2023).





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

La agricultura circular se confunde a menudo con la retórica de «de la granja a la mesa» y la responsabilidad de la cadena de suministro, que abarca elementos del ciclo de vida y la trazabilidad antes y después de la salida de la granja y que suele referirse implícitamente a los sistemas agrícolas y alimentarios de los países de altos ingresos. Debido a su complejidad biológica y como complemento de los procesos naturales del ecosistema, la agricultura ofrece algunos de los ejemplos más claros de uso circular de los recursos, muchos de los cuales han evolucionado a lo largo de siglos de práctica y de intercambio formal e informal de conocimientos en sistemas agrícolas transitorios de bajos insumos y extensivos. Entre los ejemplos se incluyen el respeto de la estacionalidad en la producción para ajustar los calendarios de cultivo a las condiciones óptimas de crecimiento, el uso de residuos de cultivos en la alimentación animal, el aumento de los nutrientes del suelo a partir de los residuos animales y humanos, y la optimización del uso de otros productos biológicos de origen animal, incluso para la producción de energía renovable (Duncan et al., 2023).

La Unión Europea, a través de sus estrategias del Pacto Verde y de la granja a la mesa, está situando la economía circular en el centro del futuro crecimiento industrial ecológico. Si bien la economía circular se ha convertido en una solución potencialmente beneficiosa para todos en la industria agroalimentaria, aún queda mucho por hacer en lo que respecta al marco normativo y los aspectos técnicos (Chiaraluce et al., 2023).

En el contexto de los sistemas agrícolas y alimentarios, la economía circular tiende a denominarse bioeconomía circular para distinguirla de la circularidad en la producción, que tiende a depender más de los recursos no renovables extraídos. La economía circular se confunde a menudo con la retórica de la responsabilidad «de la granja a la mesa» y la responsabilidad de la cadena de suministro, que abarca elementos del ciclo de vida y la trazabilidad antes y después de la salida de la granja y que suele referirse implícitamente a los sistemas agrícolas y alimentarios de los países de altos ingresos. Debido a su complejidad biológica y como complemento de los procesos naturales del ecosistema, la agricultura ofrece





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

algunos de los ejemplos más claros de uso circular de los recursos, muchos de los cuales han evolucionado a lo largo de siglos de práctica e intercambio formal e informal de conocimientos en sistemas agrícolas transitorios de bajos insumos y extensivos (Duncan et al., 2023). La integración de los principios de la economía circular en la gestión de la cadena de suministro agroalimentaria ofrece un enfoque prometedor para aumentar la sostenibilidad y la eficiencia. Esta integración implica varias estrategias clave (Cahyadi et al., 2024).

La aplicación de los principios de la economía circular puede afectar a las 3 P (planeta, personas y beneficios) de la sostenibilidad. Reduce la presión sobre los recursos naturales, al reutilizar los productos desechados, y contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. La economía circular implica actividades productivas desarrolladas con respeto por la sociedad y el medio ambiente, con el fin de promover condiciones de trabajo dignas y un desarrollo social equitativo. Por último, promueve perspectivas de remuneración justa y creación de empleo, basadas en la reutilización y la valorización de los residuos (Chiaraluce et al., 2023).

La eficiencia de los recursos puede lograrse mediante prácticas como la agricultura de precisión y los métodos agrícolas sostenibles, que optimizan el uso de insumos como el agua, la energía y las materias primas, mejorando la eficiencia y reduciendo el impacto medioambiental (Cahyadi et al., 2024).

Los principios de la economía circular incluyen el diseño para la eliminación de residuos, el mantenimiento de los productos y materiales en uso y la regeneración de los sistemas naturales. Los principios de la economía circular suelen ser parte integrante de estos nichos y tienen una larga trayectoria en los principios de ingeniería que tienen por objeto mejorar la eficiencia del uso de los recursos materiales en la producción. En la agricultura, los principios de la bioeconomía circular se integran en las estrategias y planes gubernamentales y sectoriales. Este enfoque mejora la sostenibilidad al promover la eficiencia de los recursos, reducir el impacto medioambiental y estimular el crecimiento económico mediante modelos





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

de negocio innovadores. El objetivo principal de la economía circular es aprovechar y reciclar al máximo los materiales para combatir el cambio climático y reducir el consumo de recursos naturales. La recuperación de residuos transforma los subproductos agrícolas y los residuos alimentarios en productos valiosos, como bioenergía, fertilizantes y piensos para animales, lo que reduce los residuos y crea oportunidades económicas (Cahyadi et al., 2024).

Los retos tecnológicos representan una barrera importante para la integración de los principios de la economía circular en la cadena de suministro agroalimentaria. La necesidad de una infraestructura y conocimientos técnicos avanzados es esencial para la aplicación eficaz de las prácticas de economía circular. Por ejemplo, la agricultura de precisión utiliza tecnologías avanzadas para optimizar la gestión de la agricultura a nivel de campo, lo que reduce significativamente el uso de recursos y el impacto medioambiental (Cahyadi et al., 2024).

Las prácticas de producción sostenible, como la rotación de cultivos y la agrosilvicultura, mejoran la salud del suelo, aumentan la biodiversidad y refuerzan la resiliencia al cambio climático. Estudios como proporcionan marcos y casos prácticos que demuestran las aplicaciones prácticas y los beneficios de estas estrategias en diversos contextos. Sin embargo, los elevados costes asociados a estas tecnologías pueden resultar prohibitivos para muchas partes interesadas, especialmente en las regiones en desarrollo. Además, se necesitan tecnologías innovadoras que faciliten la aplicación efectiva de la economía circular, como técnicas avanzadas de reciclaje, soluciones de conversión de residuos en energía y herramientas de agricultura de precisión (Cahyadi et al., 2024).

Otro aspecto importante es el consumidor. La economía circular es un modelo de producción y consumo y no puede implementarse de manera eficaz si el consumidor no está preparado para participar en este proceso. El consumidor podría participar en el proceso circular sin estar directamente involucrado en el proceso de transformación industrial de los alimentos. La colaboración entre las empresas y el gobierno regional puede promover

82



Co-funded by
the European Union



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

iniciativas y talleres para difundir el pensamiento circular, comenzando por las nuevas generaciones en las escuelas, promoviendo la transición económica sostenible (Chiaraluce et al., 2023).

Las cuestiones normativas y políticas también representan obstáculos importantes para la integración de los principios de la economía circular en la cadena de suministro agroalimentaria. La falta de coherencia entre las normativas y políticas de las distintas regiones puede dificultar la adopción generalizada de prácticas de economía circular. Por ejemplo, la falta de políticas de apoyo en algunas regiones puede obstaculizar la aplicación de estrategias de reducción de residuos y eficiencia de los recursos. Se necesitan políticas estandarizadas para fomentar la adopción global de los principios de la economía circular y crear un entorno propicio para la transición hacia una economía circular. Los estudios comparativos sobre cómo los diferentes marcos normativos y políticos influyen en la aplicación de la economía circular en diferentes regiones pueden proporcionar información valiosa y ayudar a adaptar las estrategias a las necesidades y condiciones locales (Cahyadi et al., 2024).

13.3. Optimización de la cadena de valor de los subproductos

La cadena de valor agroalimentaria mundial se enfrenta a retos sin precedentes, entre los que se incluyen un aumento estimado del 50 % de la demanda para 2050, la pérdida de biodiversidad causada por el cambio climático, y un impacto medioambiental significativo, como el 35 % de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero y el 70 % del uso de agua dulce (Saladi, 2025). La cadena de valor se refiere a las etapas por las que pasan los alimentos desde los productores hasta los usuarios finales. Incluye la agricultura, la transformación, la distribución y la venta al por menor. Cada etapa añade valor, garantizando la calidad y la accesibilidad para los consumidores (Saladi, 2025). Cada vez se reconoce más la importancia de la reutilización y la recuperación como medio para mejorar las prácticas de





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

producción sostenible, al reducir los flujos de residuos mediante la recuperación de recursos en la cadena. Ante los nuevos retos en el contexto del cambio climático, el sector agroalimentario podría beneficiarse en particular de la recuperación de flujos secundarios (comestibles), como las partes no cosechadas de los cultivos y las cáscaras de las verduras, que a menudo son ignoradas por los consumidores. Centrándose en estrategias para valorizar los flujos secundarios dentro de las unidades de procesamiento de alimentos, esta investigación desarrolla un modelo de optimización mixto-entero para ayudar a los responsables de la toma de decisiones a determinar una cartera de productos y una configuración de procesamiento óptimas (Remijnse et al., 2025).

Un aspecto fundamental de la economía circular es comprender cómo se crea valor e identificar los factores que lo hacen posible. La economía circular se basa en innovaciones que permiten la creación de valor. Estas innovaciones sustentan el aumento del rendimiento medioambiental, económico y social de las empresas. De hecho, existe una fuerte interconexión entre la sostenibilidad y la innovación. Varios autores atribuyen las innovaciones que repercuten en la creación de valor en un enfoque de economía circular a cuatro áreas principales: proceso, producto, servicio y modelo de negocio. Estos son requisitos previos para lograr formas de ecoinnovación o estrategias que favorezcan la transición de una economía lineal a una circular. Dados los tipos de innovaciones descritos, su función puede relacionarse con la economía circular a través de las siguientes vías que se analizan a continuación (Poponi et al., 2023).

Las innovaciones de producto conducen a la generación de valor a través de acciones destinadas a prolongar su ciclo de vida. Entre estas acciones se incluyen la reutilización o el reacondicionamiento de productos, la reutilización de componentes o el uso del ecodiseño, que implica reducir el impacto del producto a lo largo de su ciclo de vida y optimizar la producción, la vida útil y la recuperación mediante el uso de múltiples metodologías (Poponi et al., 2023).





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

Las innovaciones en los procesos crean valor al optimizar las etapas de trabajo, lo que se manifiesta en la reducción y recuperación de residuos mediante una lógica de ciclo cerrado o abierto y en la optimización del uso de la energía y los recursos en general (Poponi et al., 2023).

13.4. Evaluación de la viabilidad económica de los procesos de reutilización

Durante la última década, la economía circular ha recibido una consideración cada vez mayor en todo el mundo como método para superar el modelo actual de producción y consumo, que se caracteriza por un mayor uso y agotamiento de los recursos (Hamam M. et al., 2021).

La economía circular en el contexto de las cadenas de suministro alimentario hace hincapié en la importancia de reducir el desperdicio de alimentos, promover la recuperación y la reutilización de los residuos, adoptar nuevos modelos de negocio circulares y abordar las implicaciones socioeconómicas y políticas. La adopción de principios circulares puede contribuir a mejorar la eficiencia, la sostenibilidad y la resiliencia del sistema alimentario, al tiempo que se crean nuevas oportunidades económicas (Bigliardiab, 2024).

En el contexto actual de escasez de recursos, cambio climático global, degradación medioambiental y aumento de la demanda de alimentos, la agricultura ecológica representa una estrategia prometedora para apoyar una agricultura sostenible, restauradora y regenerativa. El problema creado por los subproductos y la generación de residuos de la industria agroalimentaria ha atraído la atención de académicos, reguladores, industria y consumidores (Hamam M. et al., 2021).

La reducción del impacto medioambiental, la mejora de la eficiencia de los recursos y el aumento de la rentabilidad son solo algunas de las ventajas que el sector alimentario ha obtenido al adoptar perspectivas de economía circular. Este enfoque promueve el pensamiento colaborativo y la innovación en toda la cadena de valor alimentaria. Sin embargo, existen





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

obstáculos específicos que deben superarse para poner en práctica estos conceptos. Entre ellos se incluyen cambiar la percepción de los consumidores, superar los obstáculos legislativos, mejorar la logística y las cadenas de suministro, y encontrar soluciones creativas al problema del desperdicio de alimentos. A pesar de estos obstáculos, existen muchas oportunidades para resolver problemas acuciantes, como la inseguridad alimentaria y la accesibilidad, utilizando conceptos de economía circular. El sector alimentario puede mejorar significativamente la sostenibilidad adhiriéndose a estos principios, reduciendo el desperdicio de alimentos y fomentando prácticas sostenibles a lo largo de la cadena de suministro. Además, este enfoque tiene el potencial de abrir nuevos mercados para productos valiosos elaborados a partir de residuos alimentarios (Fazle Rabbi y Bin Amin, 2024).

La economía circular, como todos los demás modelos sostenibles, requiere no solo conceptos innovadores, sino también actores innovadores; su implementación a menudo necesita el apoyo de las partes interesadas que permiten cambios en las políticas y las herramientas de toma de decisiones. La adopción de estrategias por parte de las empresas para mejorar la circularidad del sistema de producción también requiere la colaboración con otras empresas a lo largo de toda la cadena de suministro para lograr el modelo circular más eficiente posible. La implementación de una economía circular no siempre es fácil de lograr, ya que a menudo se enfrenta a límites biofísicos, como los elevados requisitos energéticos para la recuperación de recursos y la pérdida de calidad de los mismos (Hamam M. et al., 2021).





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

Bibliografia

1. Abreu, A. P., Martins, R., & Nunes, J. (2023). Emerging Applications of *Chlorella* sp. and *Spirulina* (*Arthrospira*) sp. In *Bioengineering* (Vol. 10, Issue 8). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/bioengineering10080955>
2. Ajit, A., Vishnu, A. G., & Varkey, P. (2021). Incorporation of grape seed extract towards wound care product development. *3 Biotech*, 11(6), 261. <https://doi.org/10.1007/s13205-021-02826-4>
3. Alves, R. C., Rodrigues, F., Nunes, M. A., Vinha, A. F., & Oliveira, M. B. P. P. (2017). State of the art in coffee processing by-products. In C. M. Galanakis (Ed.), *Handbook of coffee processing by-products* (pp. 1–26). Academic Press.
4. Anal, A. K., & Panesar, P. S. (Eds.). (2022). *Valorization of agro-industrial byproducts: Sustainable approaches for industrial transformation* (1st ed., p. 378). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003125679>
5. Andrade, M. A., Barbosa, C. H., Shah, M. A., Ahmad, N., Vilarinho, F., Khwaldia, K., Silva, A. S., & Ramos, F. (2023). Citrus By-Products: Valuable Source of Bioactive Compounds for Food Applications. In *Antioxidants* (Vol. 12, Issue 1). MDPI. <https://doi.org/10.3390/antiox12010038>
6. Aradwad, P., Raut, S., Abdelfattah, A., Rauh, C., & Sturm, B. (2025). Brewer's spent grain: Unveiling innovative applications in the food and packaging industry. In *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* (Vol. 24, Issue 3). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70150>
7. Aresta, A. M., De Vietro, N., Gubitosa, J., Rizzi, V., De Pasquale, I., Fini, P., Cosma, P., Curri, M. L., & Zambonin, C. (2023). Effect of a composite alginate/grape pomace extract packaging material for improving meat storage. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(1), 15958.
8. Arslan, A., and Alibaş, I. 2024. Assessing the effects of different drying methods and minimal processing on the sustainability of the organic food quality. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, Volume 94, June, 103681
9. Bani Kheiredine, R., Derbal, K., Charbit, K., & Maryem, A. (2022). Biogas production by an anaerobic co-digestion process from olive mill waste: Effect of ultrasonic pre-treatment. *Desalination and Water Treatment*, 246, 139–145. <https://doi.org/10.5004/dwt.2022.28011>
10. Bojorges, H., López-Rubio, A., Martínez-Abad, A., & Fabra, M. J. (2023). Overview of alginate extraction processes: Impact on alginate molecular structure and techno-functional properties. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 140). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104142>
11. Bashir, K. M. I., Kim, J. W., Park, H. R., Lee, J. K., Choi, B. R., Choi, J. S., & Kim, Y. S. (2024). Validating the health benefits of coffee berry pulp extracts in mice with high-fat diet-induced obesity and diabetes. *Antioxidants*, 13, 10. <https://doi.org/10.3390/antiox13010010>
12. Bessada, S. M. F., Alves, R. C., & Oliveira, M. B. P. P. (2018). Coffee silverskin: A review on potential cosmetic applications. *Cosmetics*, 5(1), 5. <https://doi.org/10.3390/cosmetics5010005>
13. Betoret, E., Calabuig-Jiménez, L., Barrera, C., Dalla Rosa, M. 2016. Sustainable Drying Technologies for the Development of Functional Foods and Preservation of Bioactive Compounds, *Sustainable Drying Technologies*, Capítulo 3, Intech Open; DOI: 10.5772/64191





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

14. Bié, J., Sepodes, B., Fernandes, P. C. B., & Ribeiro, M. H. L. (2023). Polyphenols in Health and Disease: Gut Microbiota, Bioaccessibility, and Bioavailability. *Compounds*, 3(1), 40-72. <https://doi.org/10.3390/compounds3010005>
15. Borah M.S., Ajita Tiwari , Kandi Sridhar , Kairam Narsaiah , Prakash Kumar Nayak, and Baskaran Stephen Inbaraj, Recent Trends in Valorization of Food Industry Waste and By-Products: Encapsulation and In Vitro Release of Bioactive Compounds, *Foods* **2023**, 12, 3823
16. Brennan, C. S. (2024). Regenerative Food Innovation: The Role of Agro-Food Chain By-Products and Plant Origin Food to Obtain High-Value-Added Foods. In *Foods* (Vol. 13, Issue 3). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/foods13030427>
17. Brodkorb, A., Egger, L., Alminger, M., Alvito, P., Assunção, R., Ballance, S., ... & Recio, I. (2019). INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. *Nature protocols*, 14(4), 991-1014.
18. Cadariu, A. I., Cocan, I., Negrea, M., Alexa, E., Obistioiu, D., Hotea, I., Radulov, I., & Poiana, M.-A. (2022). Exploring the potential of tomato processing byproduct as a natural antioxidant in reformulated nitrite-free sausages. *Sustainability*, 14(19), 11802. <https://doi.org/10.3390/su141911802>
19. Cahyadi E.R. , Hidayati N., Zahra N., Arif C., Integrating Circular Economy Principles into Agri-Food Supply Chain Management: A Systematic Literature Review, *Sustainability* 2024, 16, 7165. <https://doi.org/10.3390/su16167165>
20. Carbonell-Capella, J. M., Buniowska, M., Barba, F. J., Esteve, M. J., & Frígola, A. (2014). Analytical methods for determining bioavailability and bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(2), 155–171. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12049>.
21. Chiaraluce G., Bentivoglio D. and Finco A., The circular economy model in the agri-food sector: A new strategy for the regional development, *AIMS Agriculture and Food* 2023, 8(3): 851–872.
22. Choe, U. (2025). Valorization of spent coffee grounds and their applications in food science. In *Current Research in Food Science* (Vol. 10). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2025.101010>
23. Choon Hui Tana, Ching Lik Hiib, Chaleeda Borompichaichartkul,d, Puttapong Phumsombatc, Ianne Konga, and Liew Phing Pui, Valorization of fruits, vegetables, and their by-products: Drying and bio-drying, *DRYING TECHNOLOGY*, 2022, pages1-25.
24. Cocan, I., Cadariu, A.-I., Negrea, M., Alexa, E., Obistioiu, D., Radulov, I., & Poiana, M.-A. (2022). Investigating the antioxidant potential of bell pepper processing by-products for the development of value-added sausage formulations. *Applied Sciences*, 12(23), 12421. <https://doi.org/10.3390/app122312421>
25. Coelho, M. C., Ribeiro, T. B., Oliveira, C., Batista, P., Castro, P., Monforte, A. R., Rodrigues, A. S., Teixeira, J., & Pintado, M. (2021). In Vitro Gastrointestinal Digestion Impact on the Bioaccessibility and Antioxidant Capacity of Bioactive Compounds from Tomato Flours Obtained after Conventional and Ohmic Heating Extraction. *Foods*, 10(3), 554. <https://doi.org/10.3390/foods10030554>
26. Comunian, T.A., Silva, M.P., Souza, C.J.F., 2021. The use of food by-products as a novel for functional foods: Their use as ingredients and for the encapsulation process. *Trends in Food Science & Technology* Volume 108, February 2021, Pages 269-280
27. Corneanu, M., Golache, E., Sirbu, S., & Iurea, E. (n.d.). *CONSIDERATIONS REGARDING THE INFLUENCE OF CLIMATE ON THE PLUM IN THE CULTIVATION CONDITIONS IN ROMANIA*.





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

28. Costa, A. S. G., Alves, R. C., Vinha, A. F., Barreira, S. V. P., Nunes, M. A., Cunha, L. M., & Oliveira, M. B. P. P. (2014). Optimization of antioxidants extraction from coffee silverskin, a roasting by-product, having in view a sustainable process. *Industrial Crops and Products*, 53, 350–357. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.01.006>
29. Costa, A. S. G., Alves, R. C., Vinha, A. F., Barreiro, S. V. P., Nunes, M. A., Cunha, L. M., & Oliveira, M. B. P. P. (2014). Optimization of antioxidants extraction from coffee silverskin, a roasting by-product, having in view a sustainable process. *Industrial Crops and Products*, 53, 350–357. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.01.006>.
30. Costa, A. S. G., Alves, R. C., Vinha, A. F., Costa, E., Costa, C. S. G., Nunes, M. A., Almeida, A. A., Santos-Silva, A., & Oliveira, M. B. P. P. (2018). Nutritional, chemical and antioxidant/pro-oxidant profiles of silverskin, a coffee roasting by-product. *Food Chemistry*, 267, 28–35. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.106>
31. Costa, A. S. G., Peixoto, J. A. B., Machado, S., Espírito Santo, L., Soares, T. F., Andrade, N., Azevedo, R., Almeida, A., Costa, H. S., Oliveira, M. B. P. P., Martel, F., Simal-Gandara, J., & Alves, R. C. (2025). Coffee Pulp from Azores: A Novel Phytochemical-Rich Food with Potential Anti-Diabetic Properties. *Foods*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/foods14020306>
32. Costa, J. R., Amorim, M., Vilas-Boas, A., Tonon, R. V., Cabral, L. M., Pastrana, L., & Pintado, M. (2019). Impact of in vitro gastrointestinal digestion on the chemical composition, bioactive properties, and cytotoxicity of *Vitis vinifera* L. cv. Syrah grape pomace extract. *Food & function*, 10(4), 1856–1869. <https://doi.org/10.1039/C8FO02534G>
33. de Mello, V., de Mesquita Júnior, G. A., Alvim, J. G. E., Costa, J. d. C., & Vilela, F. M. P. (2023). Recent patent applications for coffee and coffee by-products as active ingredients in cosmetics. *International Journal of Cosmetic Science*, 45, 267–287. <https://doi.org/10.1111/ics.12843>
34. Deepak, T. S., & Jayadeep, P. A. (2022). Prospects of maize (corn) wet milling by-products as a source of functional food ingredients and nutraceuticals. *Food Technology and Biotechnology*, 60(1), 109–120. <https://doi.org/10.17113/ftb.60.01.22.7340>
35. Despoudi, S., Bucatariu, C., Otles, S., & Kartal, C. (2021). Food waste management, valorization, and sustainability in the food industry. In S. Otles (Ed.), *Food waste recovery* (2nd ed., pp. 3–19). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820563-1.00008-1>
36. Dias, P. G. I., Sajiwanie, J. W. A., & Rathnayaka, R. M. U. S. K. (2020). Formulation and development of composite fruit peel powder incorporated fat and sugar-free probiotic set yogurt. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 11(1), 59–66. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2020.11.1.0084>
37. Difonzo, G., Grassi, S., & Paciulli, M. (2022). Upcycling of agro-food chain by-products to obtain high-value-added foods. *Foods*, 11(14), 2043. <https://doi.org/10.3390/foods11142043>
38. Dima C, Assadpour E, Dima S, Jafari SM. Bioavailability and bioaccessibility of food bioactive compounds; overview and assessment by in vitro methods. *Compr Rev Food Sci Food Saf*. 2020 Nov;19(6):2862-2884. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12623>.
39. Dosoky, N. S., & Setzer, W. N. (2018). Biological activities and safety of Citrus spp. essential oils. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(7), 1966. <https://doi.org/10.3390/ijms19071966>
40. Duncan A.J., Ayantunde A., Blummel M., Amole T., Padmakumar V., Moran D., Applying circular economy principles to intensification of livestock production in Sub-Saharan Africa, 2023, *Outlook on Agriculture* 52(3)
41. Erbay, Z., & Icier, F. (2010). The importance and potential uses of olive leaves. *Food Reviews International*, 26(4), 319–334. <https://doi.org/10.1080/87559129.2010.496021>





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

42. European Food Safety Authority (EFSA). (2022). Safety of dried coffee husk (cascara) from *Coffea arabica* L. as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal*, 20, e07185. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7085>
43. Fărcaș, A. C., Socaci, S. A., Nemeș, S. A., Salanță, L. C., Chiș, M. S., Pop, C. R., Borșa, A., Diaconeasa, Z., & Vodnar, D. C. (2022). Cereal Waste Valorization through Conventional and Current Extraction Techniques—An Up-to-Date Overview. *Foods*, 11(16), 1–34. <https://doi.org/10.3390/foods11162454>
44. Fathi, F., Ebrahimi, S. N., Prior, J. A. V., Machado, S. M. L., Kouchaksaraee, R. M., Oliveira, M. B. P. P., & Alves, R. C. (2022). Formulation of nano/micro-carriers loaded with an enriched extract of coffee silverskin: Physicochemical properties, in vitro release mechanism and in silico molecular modeling. *Pharmaceutics*, 14(1), 112. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14010112>
45. Fathi, F., Ebrahimi, S.N., Matos, L.C., Oliveira, M.B.P.P., Alves, R.C. 2022. Emerging drying techniques for food safety and quality: A review. *Compr. Rev Food Sci Food Saf.*; 21:1125–1160
46. Fazle Rabbi M., Bin Amin M., Circular economy and sustainable practices in the food industry: A comprehensive bibliometric analysis, *Cleaner and Responsible Consumption* 14 (2024) 100206
47. Fernandes, F., Delerue-Matos, C., & Grosso, C. (2024). Unveiling the potential of agrifood by-products: A comprehensive review of phytochemicals, bioactivities and industrial applications. *Waste and Biomass Valorization*. <https://doi.org/10.1007/s12649-024-02622-0>
48. Food and Agriculture Organization (FAO). (2014). *Food wastage footprint: Full-cost accounting*. Rome: FAO.
49. Galanakis, C. M. (2021). *Food waste recovery: Processing technologies and industrial techniques*. Academic Press.
50. García-Lomillo, J., & González-SanJosé, M. L. (2017). Applications of wine pomace in the food industry: Approaches and functions. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(1), 3–22. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12238>
51. Gil-Ramírez, A., Rebollo-Hernanz, M., Cañas, S., Monedero Cobeta, I., Rodríguez-Rodríguez, P., Gila-Díaz, A., & Martín-Cabrejas, M. A. (2024). Unveiling the nutritional profile and safety of coffee pulp as a first step in its valorization strategy. *Foods*, 13, 3006. <https://doi.org/10.3390/foods13183006>
52. Gomez-García R., Campos D.A., Aguilar C.N., Madureira A.R., Pintado M., Valorisation of food agro-industrial by-products: From the past to the present and perspectives, *Journal of Environmental Management* 299 (2021) 113571
53. Gómez-García, R., Campos, D. A., Aguilar, C. N., Madureira, A. R., & Pintado, M. (2021). Valorisation of food agro-industrial by-products: From the past to the present and perspectives. *Journal of Environmental Management*, 299, 113571. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113571>
54. Gómez-García, R., Campos, D. A., Aguilar, C. N., Madureira, A. R., & Pintado, M. (2021). Valorisation of food agro-industrial by-products: From the past to the present and perspectives. *Journal of Environmental Management*, 299, 113571. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113571>
55. Güzel, M., & Akpınar, Ö. (2019). Valorisation of fruit by-products: Production characterization of pectins from fruit peels. *Food and Bioproducts Processing*, 115, 126–133. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.03.009>
56. Hamam M., Chinnici G., Di Vita G., Pappalardo G., Pecorino B., Giulia Maesano G., D’Amico M., Circular Economy Models in Agro-Food Systems: A Review, *Sustainability* 2021, 13, 3453. <https://doi.org/10.3390/su13063453>





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

57. Hamdi, M. (1996). Anaerobic digestion of olive mill wastewaters. *Process Biochemistry*, 31(2), 105–110. [https://doi.org/10.1016/0032-9592\(95\)00035-6](https://doi.org/10.1016/0032-9592(95)00035-6)
58. Hou, F., Hu, K., Gong, Y., Xu, J., Wu, Y., & Zhang, M. (2018). Effects of in vitro simulated digestion on the flavonoid content and antioxidant activity of aged and fresh dried tangerine peel. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(3), e13532. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13532>
59. Igual, M., García-Segovia, P., & Martínez-Monzó, J. (2021). Amino acids release from enriched bread with edible insect or pea protein during in vitro gastrointestinal digestion. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 24, 100351. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100351>
60. Igual, M., Moreau, F., García-Segovia, P., & Martínez-Monzó, J. (2023). Valorization of beetroot by-products for producing value-added third generation snacks. *Foods*, 12(1), 176. <https://doi.org/10.3390/foods12010176>
61. Igual, M., Păucean, A., Vodnar, D. C., García-Segovia, P., Martínez-Monzó, J., & Chiş, M. S. (2022). In Vitro Bioaccessibility of Bioactive Compounds from Rosehip-Enriched Corn Extrudates. *Molecules*, 27(6), 1972. <https://doi.org/10.3390/molecules27061972>
62. Inada, K. O. P., Nunes, S., Martinez-Blazquez, J. A., Tomás-Barberán, F. A., Perrone, D., Monteiro, M. 2020. Effect of high hydrostatic pressure and drying methods on phenolic compounds profile of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel and seed. *Food Chemistry*, 309, 125794. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125794>
63. Inayatul, M., Paulus Lobo, G., Sri, S., & Dahlang, T. (2025). Can agriculture and food waste be a solution to reduce environmental impact of plastic pollution? Zero-waste approach for sustainable clean environment. *Bioresource Technology*, 420, 132130. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2025.132130>
64. Ingale, O. S., Pravin, B. P., Pawase, P. A., Shams, R., Dash, K. K., Bashir, O., & Roy, S. (2025). Enhancing bioactive stability and applications: microencapsulation in fruit and vegetable waste valorization. In *Discover Food* (Vol. 5, Issue 1). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00412-8>
65. Jiang, H., Zhang, M., Fang, Z., Mujumdar, A.S., Xu, B. 2016. Effect of different dielectric drying methods on the physico-chemical properties of a starch–water model system. *Food Hydrocolloids*, 52, 192–200. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.06.021>
66. Kalintas Caglar, N., Saroglu, O., Karakas, C.Y., Tasci, C.O., Catalkaya, G., Yildirim, R.M., Gultepe, E.E., Gulec, S., Sagdic, O., Capanoglu, E. and Karadag, A. (2024), Liposomal black mulberry extract loaded-nanofibers: preparation, characterisation, and bioaccessibility of phenolics by simulated in vitro digestion combined with the Caco-2 cell model. *Int J Food Sci Technol*, 59: 9298-9309. <https://doi.org/10.1111/ijfs.17570>
67. Karastergiou, A., Gancel, A. L., Jourdes, M., & Teissedre, P. L. (2024). Valorization of Grape Pomace: A Review of Phenolic Composition, Bioactivity, and Therapeutic Potential. In *Antioxidants* (Vol. 13, Issue 9). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/antiox13091131>
68. Katnić, Đ., Marinović-Cincović, M., Porobić, S. J., Vujčić, I., Šaponjić, A., Sikirić, B., & Živojinović, D. (2022). Characterization and kinetics of thermal decomposition behavior of plum and fig pomace biomass. *Journal of Cleaner Production*, 352. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131637>
69. Knežević N., Ranilović J., Cvetković T., Grbavac S., Palfi M., Vegetable by-products in the European food legislative framework, *Croatian Journal of Food Technology, Biotechnology and Nutrition* vol.16 (3-4), 2021





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

70. Kołodziejczyk, K., Markowski, J., Kosmala, M., Król, B., & Płocharski, W. (2007). Apple pomace as a potential source of nutraceutical products. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 57(4B), 291–295.
71. Kolybaba, M., Tabil, L., Panigrahi, S., Crerar, W., Powell, T., & Wang, B. (2016). *Biodegradable polymers: Past, present, and future*. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
72. Kumar, A., et al. (2021). Recent advances in anaerobic digestion of food waste: A review. *Bioresource Technology*, 319, 124187. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124187> DOI:10.1016/j.tifs.2020.07.015
73. Leong, Y. K., & Chang, J. S. (2022). Valorization of fruit wastes for circular bioeconomy: Current advances, challenges, and opportunities. *Bioresource Technology*, 359, 127459. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127459>
74. Li, Y., Xu, S. Y., Sun, D.-W. 2007. Preparation of garlic powder with high allicin content by using combined microwave-vacuum and vacuum drying as well as microencapsulation. *Journal of Food Engineering*, 83(1), 76–83. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.02.057>
75. Liu, M., Yun, P., Hu, Y., Yang, J., Khadka, R. B., & Peng, X. (2020). Effects of grape seed proanthocyanidin extract on obesity. *Obesity Facts*, 13(2), 279–291. <https://doi.org/10.1159/000502235>
76. López-Caballero, M. E., et al. (2022). Agro-industrial by-products as sources of bioactive compounds for functional foods: A review. *Food Bioscience*, 47, 101674. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101674>
77. López-Gómez, J. P., et al. (2020). Biotechnological approaches for agro-waste valorization. *Trends in Food Science & Technology*,
78. Loschi, F., Zengin, G., Zancato, M., Ferrarese, I., De Zordi, N., Dall'Acqua, S., & Sut, S. (2024). Valorisation of olive pomace from Veneto region: Oven-dried material for food, nutraceutical, and cosmetic application of the OLIVARE project. *Process Biochemistry*, 137, 153–163. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2024.01.001>
79. Lu, X., et al. (2020). Evaluation of Oral Bioaccessibility of Aged Citrus Peel Extracts Encapsulated in Different Lipid-Based Systems: A Comparison Study Using Different in Vitro Digestion Models. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(1), 97–105.
80. Machado, M., Espírito Santo, L., Machado, S., Lobo, J. C., Costa, A. S. G., Oliveira, M. B. P. P., Ferreira, H., & Alves, R. C. (2023). Bioactive Potential and Chemical Composition of Coffee By-Products: From Pulp to Silverskin. *Foods*, 12(12), 2354. <https://doi.org/10.3390/foods12122354>
81. Machado, M., Galrinho, M. F., Passos, C. P., Espírito Santo, L., Chiş, M. S., Ranga, F., Puga, H., Palmeira, J., Coimbra, M. A., Oliveira, M. B. P. P., & Alves, R. C. (2024). Prebiotic potential of a coffee silverskin extract obtained by ultrasound-assisted extraction on *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei*. *Journal of Functional Foods*, 120, 106378. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.106378>
82. Manach, C., Williamson, G., Morand, C., Scalbert, A., & Rémésy, C. (2005). Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. I. Review of 97 bioavailability studies. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81(1), 230S–242S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/81.1.230S>
83. Manach, C., Williamson, G., Morand, C., Scalbert, A., & Rémésy, C. (2005). Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. I. Review of 97 bioavailability studies. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81(1 Suppl), 230S–242S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/81.1.230S>
84. Manakas, P., Balafoutis, A. T., Kottaridi, C., & Vlysidis, A. (2025). Sustainability assessment of orange peel waste valorization pathways from juice industries. In *Biomass Conversion and*





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

- Biorefinery* (Vol. 15, Issue 5, pp. 6525–6544). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05626-x>
85. Michailides, M., Christou, G., Akratos, C. S., Tekerlekopoulou, A. G., & Vayenas, D. V. (2011). Composting of olive leaves and pomace from a three-phase olive mill plant. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 65(3), 560–564. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2011.02.007>
 86. Minekus, M., Alminger, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T. O. R. S. T. E. N., Bourlieu, C., ... & Brodtkorb, A. (2014). A standardised static in vitro digestion method suitable for food—an international consensus. *Food & function*, 5(6), 1113–1124. <https://doi.org/10.1039/c3fo60702j>
 87. Minekus, M. (2015). The TNO gastro-intestinal model (TIM). *The Impact of Food Bioactives on Health: in vitro and ex vivo models*, 37–46.
 88. Morgan, C.A., Herman, N., White, P.A. & Vesey, G. 2006. Preservation of micro-organisms by drying: A review. *Journal of Microbiological Methods*. 66, 183–193
 89. Mujtaba, M., Fraceto, L. F., Fazeli, M., Mukherjee, S., Savassa, S. M., de Medeiros, G. A., do Espírito Santo Pereira, A., Mancini, S. D., Lipponen, J., & Vilaplana, F. (2023). Lignocellulosic biomass from agricultural waste to the circular economy: A review with focus on biofuels, biocomposites and bioplastics. *Journal of Cleaner Production*, 402, 136815. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136815>
 90. Murthy, P. S., & Naidu, M. M. (2012). Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 66, 45–58. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.005>
 91. Myrdal Miller, A., Mills, K., Wong, T., Drescher, G., Lee, S. M., Sirimuangmoon, C., Schaefer, S., Langstaff, S., Minor, B., & Guinard, J.-X. (2014). Flavor-enhancing properties of mushrooms in meat-based dishes in which sodium has been reduced and meat has been partially substituted with mushrooms. *Journal of Food Science*, 79, S1795–S1804. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12549>
 92. Nicastro R., Papale M., Fusco G.M., Capone A., Morrone B., Carillo P., Legal Barriers in Sustainable Agriculture: Valorization of Agri-Food Waste and Pesticide Use Reduction, *Sustainability* 2024, 16, 8677. <https://doi.org/10.3390/su16198677>
 93. Nilsen-Nygaard, J., Fernández, E. N., Radusin, T., Rotabakk, B. T., Sarfraz, J., Sharmin, N., Sivertsvik, M., Sone, I., & Pettersen, M. K. (2021). Current status of biobased and biodegradable food packaging materials: Impact on food quality and effect of innovative processing technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(2), 1333–1380. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12701>
 94. Nunes, M. A., Alves, R. C., Costa, A. S. G., & Oliveira, M. B. P. P. (2018). Olive pomace phenolics extraction: Conventional vs emergent methodologies. In Vilarinho, C., Castro, F., & Lopes, M. (Eds.), *WASTES – Solutions, Treatments and Opportunities II* (pp. 395–400). Taylor & Francis. ISBN 978-1-138-19669-8
 95. Nunes, M. A., Costa, A. S. G., Bessada, S., Santos, J., Puga, H., Alves, R. C., & Oliveira, M. B. P. P. (2018). Olive pomace as a valuable source of bioactive compounds: A study regarding its lipid- and water-soluble components. *Science of the Total Environment*, 644, 229–236. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.350>
 96. Nunes, M. A., Palmeira, J. D., Melo, D., Machado, S., Lobo, J. C., Costa, A. S. G., & Oliveira, M. B. P. P. (2021). Chemical composition and antimicrobial activity of a new olive pomace functional ingredient. *Pharmaceuticals*, 14(9), 913. <https://doi.org/10.3390/ph14090913>
 97. Nunes, M. A., Pawlowski, S., Costa, A. S. G., Alves, R. C., Oliveira, M. B. P. P., & Velizarov, S. (2019). Valorization of olive pomace by a green integrated approach applying sustainable extraction





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

- and membrane-assisted concentration. *Science of the Total Environment*, 652, 40–47. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.204>
98. Nunes, M. A., Pimentel, F. B., Costa, A. S. G., Alves, R. C., & Oliveira, M. B. P. P. (2016). Olive by-products for functional and food applications: Challenging opportunities to face environmental constraints. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 35, 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.04.016>
 99. Oliveira, G., Passos, C. P., Ferreira, P., Coimbra, M. A., & Gonçalves, I. (2021). Coffee by-products and their suitability for developing active food packaging materials. In *Foods* (Vol. 10, Issue 3). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/foods10030683>
 100. Ousager, L. B., Bygum, A., & Hafner, C. (2012). Identification of a novel S249C FGFR3 mutation in a keratinocytic epidermal naevus syndrome. *British Journal of Dermatology*, 167(1), 202–204. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2133.2012.10812.x>
 101. Ozkan, G., Günel-Köroğlu, D., & Capanoglu, E. (2023). Valorization of fruit and vegetable processing by-products/wastes. *Advances in Food and Nutrition Research*, 107, 1–39. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2023.06.002>
 102. Parada, J., & Aguilera, J. M. (2007). Food microstructure affects the bioavailability of several nutrients. *Journal of Food Science*, 72(2), R21–R32. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00274.x>
 103. Pascoalino, L. A., Barros, L., Barreira, J. C. M., Beatriz, M., & Reis, F. S. (2024). Closing the loop: exploring apple pomace as a source of bioactive compounds in the framework of circular economy. In *Sustainable Food Technology* (Vol. 3, Issue 1, pp. 81–95). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/d4fb00172a>
 104. Pascoalino, L. A., Reis, F. S., Prieto, M. A., Barreira, J. C. M., Ferreira, I. C. F. R., & Barros, L. (2021). Valorization of bio-residues from the processing of main portuguese fruit crops: From discarded waste to health promoting compounds. In *Molecules* (Vol. 26, Issue 9). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules26092624>
 105. Paulo de Sa, Korinek J., Resource efficiency, the circular economy, sustainable materials management and trade in metals and minerals, *Oecd Trade Policy Paper N°245* © Oecd 2021
 106. Peixoto, J. A. B., Andrade, N., Machado, S., Costa, A. S. G., Puga, H., Oliveira, M. B. P. P., & Nunes, M. A. (2022). Valorizing coffee silverskin based on its phytochemicals and antidiabetic potential: From lab to a pilot scale. *Foods*, 11(12), 1671. <https://doi.org/10.3390/foods11121671>
 107. Peixoto, J. A. B., Andrade, N., Machado, S., Costa, A. S. G., Puga, H., Oliveira, M. B. P. P., Martel, F., & Alves, R. C. (2022). Valorizing coffee silverskin based on its phytochemicals and antidiabetic potential: From lab to a pilot scale. *Foods*, 11(12), 1671. <https://doi.org/10.3390/foods11121671>
 108. Peñaranda, I., Garrido, M. D., García-Segovia, P., Martínez-Monzó, J., & Igual, M. (2025). Effect of protein texturization on amino acids and protein in vitro bioaccessibility of pea and rice protein. *Food & Function*. <https://doi.org/10.1039/D4FO04829F>
 109. Pérez Calvo, A., Paz Ruiz, N., & Delgado Espinoza, Z. (2023). Coffee pulp: A sustainable and affordable source for developing functional foods. *Processes*, 11, 1693. <https://doi.org/10.3390/pr11061693>
 110. Petraru, A., Ursachi, F., & Amariei, S. (2021). Nutritional characteristics assessment of sunflower seeds, oil and cake: Perspective of using sunflower oilcakes as a functional ingredient. *Plants*, 10(11), 2487. <https://doi.org/10.3390/plants10112487>
 111. Picot-Allain, M. C. N., Ramasawmy, B., & Emmambux, M. N. (2020). Extraction, characterisation, and application of pectin from tropical and sub-tropical fruits: A review. *Food Reviews International*, 38(3), 282–312. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1733008>





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

112. Pinto, D., López-Yerena, A., Lamuela-Raventós, R., Vallverdú-Queralt, A., Delerue-Matos, C., & Rodrigues, F. (2024). Predicting the effects of in-vitro digestion in the bioactivity and bioaccessibility of antioxidant compounds extracted from chestnut shells by supercritical fluid extraction—a metabolomic approach. *Food Chemistry*, 435, 137581. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137581>
113. Plazzotta, S., Calligaris, S., Manzocco, L. 2019. Structure of oleogels from κ -carrageenan templates as affected by supercritical CO₂-drying, freeze-drying and lettuce-filler addition. *Food Hydro colloids*, 96,1–10.<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.05.008>
114. Poiana, M.-A., Alexa, E., Radulov, I., Raba, D.-N., Cocan, I., Negrea, M., Misca, C. D., Dragomir, C., Dossa, S., & Suster, G. (2023). Strategies to formulate value-added pastry products from composite flours based on spelt flour and grape pomace powder. *Foods*, 12, 3239. <https://doi.org/10.3390/foods12173239>
115. Poiana, M.-A., et al. (2023). Utilization of agro-food by-products in bakery products. *Food Chemistry*, 387, 132967. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.132967>
116. Poponi S., Arcese G., Ruggieri A., Pacchera F., Value optimisation for the agri-food sector: A circular economy approach, *Business Strategy and the Environment* 2023, 023;32:2850–2867, DOI: 10.1002/bse.3274
117. Popović, S., Hromiš, N., Šuput, D., Bulut, S., Romanić, R., & Lazić, V. (2020). Valorization of by-products from the production of pressed edible oils to produce biopolymer films. In *Cold Pressed Oils* (pp. 15–30). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818188-1.00002-4>
118. Preethi B., Natchimuthu Karmegam, Sivasubramanian Manikandan Sundaram Vickram , Ramasamy Subbaiya , Shanmugam Rajeshkumar , Chinnasamy Gomadurai, Muthusamy Govarthanan, Nanotechnology-powered innovations for agricultural and food waste valorization: A critical appraisal in the context of circular economy implementation in developing nations, *Process Safety and Environmental Protection* 184 (2024) 477–491
119. Psarommatis F., May G., A Cost–Benefit Model for Sustainable Product Reuse and Repurposing in Circular Remanufacturing, *Sustainability* 2025, 17, 245
120. Puga, H., Alves, R. C., Costa, A. S. G., Vinha, A. F., & Oliveira, M. B. P. P. (2017). Multi-frequency multimode modulated technology as a clean, fast, and sustainable process to recover antioxidants from a coffee by-product. *Journal of Cleaner Production*, 168, 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.231>
121. Redha, A. A., Torquati, L., Bows, J. R., Gidley, M. J., & Cozzolino, D. (2025). Microencapsulation of broccoli sulforaphane using whey and pea protein: in vitro dynamic gastrointestinal digestion and intestinal absorption by Caco-2-HT29-MTX-E12 cells. *Food & Function*, 16(1), 71-86. <https://doi.org/10.1039/D4FO03446E>
122. Rein MJ, Renouf M, Cruz-Hernandez C, Actis-Goretta L, Thakkar SK, da Silva Pinto M. Bioavailability of bioactive food compounds: a challenging journey to bioefficacy. *Br J Clin Pharmacol*. 2013 Mar;75(3):588-602. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2125.2012.04425.x>
123. Rein, M. J., Renouf, M., Cruz-Hernandez, C., Actis-Goretta, L., Thakkar, S. K., & da Silva Pinto, M. (2013). Bioavailability of bioactive food compounds: A challenging journey to bioefficacy. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 75(3), 588–602. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2125.2012.04360.x>
124. Remijnse M., Rohmer S.U.K., Marandi A., Woensel T.V., Optimising agri-food supply chains: Managing food waste through harvest and side-stream valorisation, *Journal of Cleaner Production* 503, 2025





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

125. Reyes, A., Cerón, S., Zúñiga, R., & Moyano, P. 2007. A comparative study of microwave-assisted air drying of potato slices. *Biosystems Engineering*, 98(3), 310–318. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.07.006>
126. Ritika, Rizwana, Shukla, S., Sondhi, A., Tripathi, A. D., Lee, J. K., & Verma, D. K. (2024). Valorisation of fruit waste for harnessing the bioactive compounds and its therapeutic application. *Trends in Food Science & Technology*, 144, 104302. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104302>
127. Rocchetti, G., Rizzi, C., Cervini, M., Rainero, G., Bianchi, F., Giuberti, G., Lucini, L., & Simonato, B. (2021). Impact of Grape Pomace Powder on the Phenolic Bioaccessibility and on In Vitro Starch Digestibility of Wheat Based Bread. *Foods*, 10(3), 507. <https://doi.org/10.3390/foods10030507>
128. Rodrigues, R., Oliveira, M. B. P. P., & Alves, R. C. (2023). Chlorogenic acids and caffeine from coffee by-products: A review on skincare applications. *Cosmetics*, 10(1), 12. <https://doi.org/10.3390/cosmetics10010012>
129. Rodríguez-Blázquez, S., Pedrera-Cajas, L., Gómez-Mejía, E., Vicente-Zurdo, D., Rosales-Conrado, N., León-González, M. E., Rodríguez-Bencomo, J. J., & Miranda, R. (2024). The Potential of Plum Seed Residue: Unraveling the Effect of Processing on Phytochemical Composition and Bioactive Properties. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(2). <https://doi.org/10.3390/ijms25021236>
130. Rungraung, N., Muangpracha, N., & Trachootham, D. (2023). Twelve-week safety and potential lipid control efficacy of coffee cherry pulp juice concentrate in healthy volunteers. *Nutrients*, 15(7), 1602. <https://doi.org/10.3390/nu15071602>
131. Saladi V.S., Optimising the Agri-Food Value Chain: Latest Trends and Proven Methods for Success, 2025, DOI: 10.13140/RG.2.2.30375.46242
132. Samad, N., Okonkwo, C. E., Ayyash, M., Al-Marzouqi, A. H., Yuliarti, O., & Kamal-Eldin, A. (2025a). Valorization of Fruit Pomace by Enzymatic Treatment and Microbial Fermentation. *Fermentation*, 11(7), 376. <https://doi.org/10.3390/fermentation11070376>
133. Samad, N., Okonkwo, C. E., Ayyash, M., Al-Marzouqi, A. H., Yuliarti, O., & Kamal-Eldin, A. (2025b). Valorization of Fruit Pomace by Enzymatic Treatment and Microbial Fermentation. *Fermentation*, 11(7), 376. <https://doi.org/10.3390/fermentation11070376>
134. Saratale, G. D., Bhosale, R., Shobana, S., Banu, J. R., Pugazhendhi, A., Mahmoud, E., Sirohi, R., Bhatia, S. K., Atabani, A. E., Mulone, V., Yoon, J.-J., Shin, H. S., & Kumar, G. (2020). A review on valorization of spent coffee grounds (SCG) towards biopolymers and biocatalysts production. *Bioresource Technology*, 314, 123800. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123800>
135. Sarepoua, E., Tangwongchai, R., Suriharn, B., & Lertrat, K. (2013). Relationships between phytochemicals and antioxidant activity in corn silk. *International Food Research Journal*, 20(5), 2073–2079.
136. Sarmiento-Torres, L. F., Murrillo-Franco, S. L., Galvis-Nieto, J. D., Rodríguez, L. J., Igual, M., García-Segovia, P., & Orrego, C. E. (2025). Physicochemical and Functional Properties and In Vitro Digestibility of Green Banana Flour-Based Snacks Enriched With Mango and Passion Fruit Pulp by Extrusion Cooking. *International Journal of Food Science*, 2025(1), 5204346.
137. Serena-Romero, G., Iñot-Gutiérrez, A., Conde-Rivas, O., Lima-Silva, M. Y., Martínez, A. J., Guajardo-Flores, D., & Cruz-Huerta, E. (2023). Impact of In Vitro Digestion on the Digestibility, Amino Acid Release, and Antioxidant Activity of Amaranth (*Amaranthus cruentus* L.) and Cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) Proteins in Caco-2 and HepG2 Cells. *Antioxidants*, 12(12), 2075. <https://doi.org/10.3390/antiox12122075>





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

138. Serrapica, F., Masucci, F., Raffrenato, E., Sannino, M., Vastolo, A., Barone, C. M. A., & Di Francia, A. (2019). High fiber cakes from Mediterranean multipurpose oilseeds as protein sources for ruminants. *Animals*, 9(11), 918. <https://doi.org/10.3390/ani9110918>
139. Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages, and spices: Antioxidant activity and health effects – A review. *Journal of Functional Foods*, 18, 820–897. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>
140. Sharma, N., Bhardwaj, A., Esua, O. J., Pojić, M., & Tiwari, B. K. (2025). Cereal processing by-products and wastewater for sustainable protein extraction. *Waste Management*, 201. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2025.114790>
141. Sharma, S., et al. (2023). Advances in plant-based meat substitutes. *Journal of Food Science*, 45, 123–135. <https://doi.org/10.1016/j.jfs.2023.123456>
142. Sheikh, M. A., Saini, C. S., & Sharma, H. K. (2023). Harnessing plum (*Prunus domestica* L.) processing wastes for the fabrication of bio-composite edible films: An attempt towards a food circular bioeconomy. *Food Hydrocolloids*, 142. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108790>
143. Siddiqui, S.A., Ucakc, I., Tokeri, O.S., Jaind, S., Elsheikhe, W., Redhaf, A.A., Kurt, A., Toker, O.S. 2024. Impact of drying on techno-functional and nutritional properties of food proteins and carbohydrates - A comprehensive review. *DRYING TECHNOLOGY 2024*, VOL. 42, NO. 4, 592–611 <https://doi.org/10.1080/07373937.2024.2303580>
144. Simone N, Di Loreto G, Bacceli M, Di Marco S, Cellini M, Vecchiotti G, Lanza B. Spontaneous and Controlled Fermentation Tests in Industrial Table Olives Production. *Applied Sciences*. 2023; 13(16):9455. <https://doi.org/10.3390/app13169455>
145. Soares, T. F., Alves, R. C., & Oliveira, M. B. P. P. (2024). From olive oil production to by-products: Emergent technologies to extract bioactive compounds. *Food Reviews International*, 40(10), 3342–3369. <https://doi.org/10.1080/87559129.2024.2354331>
146. Soccol, C. R., et al. (2017). Biorefineries: an overview. *Bioresource Technology*, DOI: 10.1016/j.biortech.2017.03.008
147. Sousa, M. M., Ferreira, D. M., Machado, S., Lobo, J. C., Costa, A. S. G., Palmeira, J. D., & Oliveira, M. B. P. P. (2023). Effect of different time/temperature binomials on the chemical features, antioxidant activity, and natural microbial load of olive pomace paste. *Molecules*, 28(6), 2876. <https://doi.org/10.3390/molecules28062876>
148. Stanisławski, J. 2005. Drying of diced carrot in a combined microwave–fluidized bed dryer. *Drying Technology*, 23(8), 1711–1721. <https://doi.org/10.1081/DRT-200065129>
149. Talebi, M., Esmaeeli, H., İlgün, S., Talebi, M., Farkhondeh, T., Mishra, G., & Samarghandian, S. (2023). The protective role of grape seed in obesity and lipid profile: An updated narrative overview of preclinical and clinical studies. *Endocrine, Metabolic & Immune Disorders - Drug Targets*, 23(1), 46–62. <https://doi.org/10.2174/1871530322666220630091859>
150. Tamilselvan, K., Sundarajan, S., Ramakrishna, S., Amirul, A. A. A., & Vigneswari, S. (2024). Sustainable valorisation of coffee husk into value added product in the context of circular bioeconomy: Exploring potential biomass-based value webs. In *Food and Bioproducts Processing* (Vol. 145, pp. 187–202). Institution of Chemical Engineers. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2024.03.008>
151. Tarhini M., Turcea V.C., Zapucioiu L.F., Ion R.A., Food Waste Status And Reduction Through The Circular Economy, Scientific Papers Series Management, Economic Engineering In Agriculture And Rural Development Vol. 22, Issue 4, 2022



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

152. Taşeri, L., Aktaş, M., Şevik, S., Gülcü, M., Uysal Seçkin, G., & Aktekeli, B. 2018. Determination of drying kinetics and quality parameters of grape pomace dried with a heat pump dryer. *Food Chemistry*, 260, 152–159. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.122>
153. Triviño-Pineda, A.-S., Sanchez-Rodriguez, A., & Pinel Peláez, N. (2024). Biogas production from organic solid waste through anaerobic digestion: A meta-analysis. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9, 100618. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100618>
154. Ul Hasan, M., Malik, A.U., Ali, S., Munir, A., Amjad, W., Raheel Anwar, R. 2019. Modern drying techniques in fruits and vegetables to overcome postharvest losses: A review. *J Food Process Preserv.* 2019;00: e14280. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14280>
155. Unusan, N. (2020). Proanthocyanidins in grape seeds: An updated review of their health benefits and potential uses in the food industry. *Journal of Functional Foods*, 67, 103861. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103861>
156. Vaz, T., Quina, M. M. J., Martins, R. C., & Gomes, J. (2024). Olive mill wastewater treatment strategies to obtain quality water for irrigation: A review. *Science of the Total Environment*, 931, 172676. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172676>
157. Vega-Mercado, H., Gongora-Nieto, M.M., and Barbosa-Canovas, G. V. 2001. Advances in dehydration of foods. *Journal of Food Engineering*, 49(271), 289. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00224-7](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00224-7)
158. Villalva, M., Jaime, L., Siles-Sánchez, M. d. l. N., & Santoyo, S. (2022). Bioavailability Assessment of Yarrow Phenolic Compounds Using an In Vitro Digestion/Caco-2 Cell Model: Anti-Inflammatory Activity of Basolateral Fraction. *Molecules*, 27(23), 8254. <https://doi.org/10.3390/molecules27238254>
159. Visvanathan, S., & Williamson, G.(2022). Review of factors affecting citrus polyphenol bioavailability and their importance in designing in vitro, animal, and intervention studies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(6), 4509-4545. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12829>
160. Vlad, C. C., Păcularu-Burada, B., Vasile, A. M., Milea, Ştefania A., Bahrim, G. E., Râpeanu, G., & Stănciuc, N. (2022). Upgrading the Functional Potential of Apple Pomace in Value-Added Ingredients with Probiotics. *Antioxidants*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/antiox11102028>
161. Vlaicu, P. A., Untea, A. E., Turcu, R. P., Panaite, T. D., & Saracila, M. (2022). Rosehip (*Rosa canina* L.) meal as a natural antioxidant on lipid and protein quality and shelf-life of polyunsaturated fatty acids enriched eggs. *Antioxidants*, 11(10), 1948. <https://doi.org/10.3390/antiox11101948>
162. Wadhwa, M., & Bakshi, M. P. S. (2013). Utilization of fruit and vegetable wastes as livestock feed and as substrates for generation of other value-added products. *FAO Animal Production and Health Paper*, 4, 1–67.
163. Wang, H. C., Zhang, M., & Adhikari, B. 2015. Drying of shiitake mushroom by combining freeze-drying and mid-infrared radiation. *Food and Bioprocess Technology*, 94, 507–517. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2014.07.008>
164. Williamson G. Bioavailability of Food Polyphenols: Current State of Knowledge. *Annu Rev Food Sci Technol.* 2025 Apr;16(1):315-332. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-060721-023817>
165. Wunder S., McFarland K., Hirschnitz-Garbers M., Parfitt J., Luyckx K., Jarosz D., Youhanan L., Stenmarck A., Colin F., Burgos S., Gheoldus M., Cummins A.C., Mahon P., Van Herpen E., EU policy review for waste prevention and valorisation 2018, WP3, Deliverable 3.3.
166. Xu, X., Zhang, L., Feng, Y., El Gasim A Yagoub, A., Sun, Y., Ma, H., Zhou, C. 2020. Vacuum pulsation drying of okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench): Better retention of the quality





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

- characteristics by flat sweep frequency and pulsed ultrasound pretreatment. *Food Chemistry*, 326, 127026. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127026>
167. Yadav, J. S. S., Yan, S., Pilli, S., Kumar, L., Tyagi, R. D., & Surampalli, R. Y. (2015). Cheese whey: A potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides. *Biotechnology Advances*, 33(6), 756–774. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.07.002>
168. Yang, C., Shang, K., Lin, C., Wang, C., Shi, X., Wang, H., & Wu, D. (2021). Processing technologies, phytochemical constituents, and biological activities of grape seed oil (GSO): A review. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 1074–1083. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.09.011>
169. Yangui, T., Chakroun, H., Dhoub, A., & Bouaziz, M. (2021). Biological properties and chemical composition of essential oils from fresh and shade-dried olive leaves of *Olea europaea* L. Chemlali cultivar. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 24(6), 1389–1401. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2022.2026254>
170. Zhang, M., Bhandari, B., & Fang, Z. 2017. Handbook of drying of vegetables and vegetable products. Taylor & Francis Group.
171. Zhang, Y., Hawboldt, K., & MacQuarrie, S. (2024). Extraction of bioactive compounds from beach-cast brown algae: a review on accelerated solvent extraction and subcritical water extraction. In *RSC Sustainability* (Vol. 2, Issue 8, pp. 2069–2091). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/d4su00204k>
172. Zhao, X., Wang, Y., Chen, X., Yu, X., Li, W., Zhang, S., Meng, X., Zhao, Z.-M., Dong, T., Anderson, A., Aiyedun, A., Li, Y., Webb, E., Wu, Z., Kunc, V., Ragauskas, A., Ozcan, S., & Zhu, H. (2023). Sustainable bioplastics derived from renewable natural resources for food packaging. *Matter*, 6(1), 97–127. <https://doi.org/10.1016/j.matt.2022.11.006>.
173. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/?uri=celex%3A32008L0098>
174. <https://legislatie.just.ro/Public/DetaliuDocument/172506>
175. <https://legislatie.just.ro/Public/DetaliuDocumentAfis/170029>
176. <https://legislatie.just.ro/public/detaliuDocument/44014>
177. <https://legislatie.just.ro/Public/DetaliuDocumentAfis/210623>
178. <https://legislatie.just.ro/Public/DetaliuDocumentAfis/277592>
179. <https://legislatie.just.ro/Public/DetaliuDocument/245846>
180. <https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=legisum:4300993#:~:text=SUMMARY%20OF,animal%20health%20and%20welfare>
181. <https://proiecte.incdsb.ro/FITOCOMP/#scop>
182. <https://www.susorgplus.eu/about> (SUSORGPLUS, 2025)
183. <https://bioesurse.ro/blogs/media/conferin%C8%9Ba-lansarea-proiectului-metrofood-ro-evolve-29-ianuarie-2025>





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

184. <https://ancafarcas.wixsite.com/sustainable-pce/disemination-2021-2023>
185. <https://www.fao.org/faolex/results/details/fr/c/LEX-FAOC197106/>
186. https://www.madr.ro/docs/ind-alimentara/risipa_alimentara/2024/Norme-metodologice-de-aplicare-a-Legii-nr.-217-2016.pdf
187. <https://www.madr.ro/planul-national-strategic-pac-post-2020.html>
188. <https://legislatie.just.ro/Public/DetaliiDocument/196382>
189. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122535/records/65deeb9f0f3e94b9e5d2bfc4>
190. <https://tim7.ro/bagheta-berarului/>
191. <https://www.healthline.com/nutrition/wheat-bran>

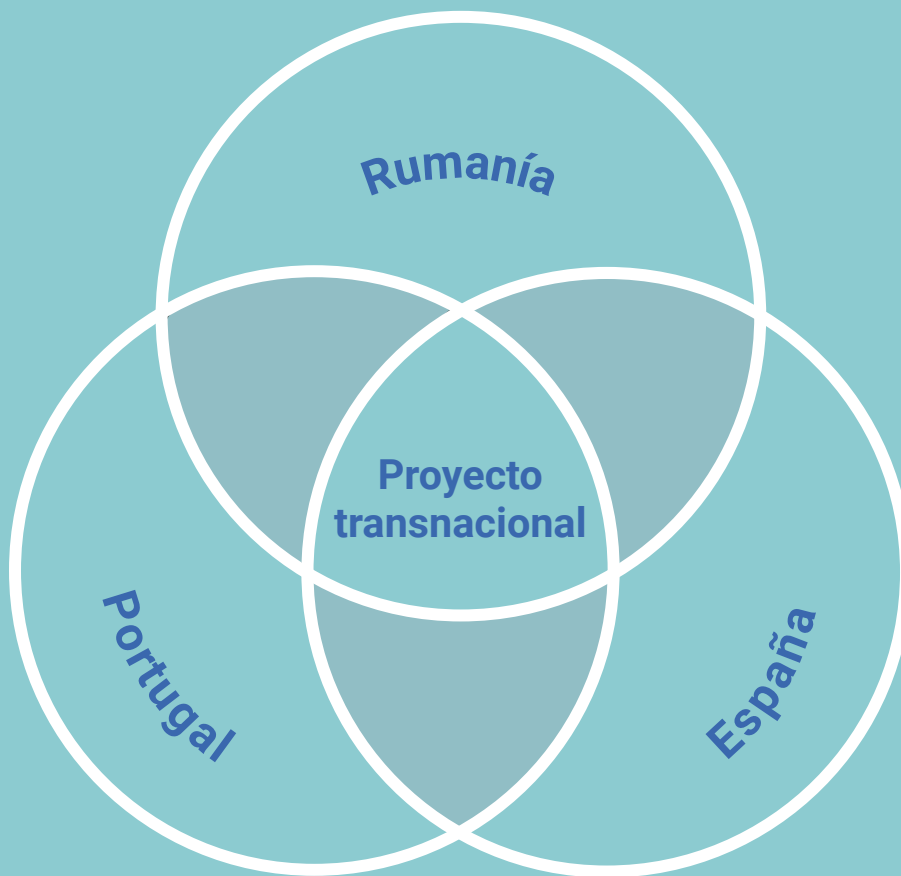




UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



eAfoBy



Proyecto n.º: 2024-1-R001-KA220-HED-000246776



Co-funded by
the European Union