



# **C3-BIOECONOMY**

**Circular and Sustainable Bioeconomy**

*International Journal of Circular and Sustainable Bioeconomy*

Nº4 (2023)





## Índice

EDITORIAL .....	3
Efectos ambientales y Económicos Favorables de los Coproductos de Etanos de Maíz en Brasil .....	11
Desde la Bioeconomía de Georgescu-Roegen hasta la Bioeconomía andeamazónica .....	25
Pérdida y desperdicio de alimentos: Uno de los grandes retos de la economía circular .....	55
Análisis estratégico de la implantación de la bioeconomía circular en Andalucía a través del análisis DAFO. ....	75
MONOGRÁFICO: La confluencia de Bioeconomía Circular, Biorrefinerías y Objetivos de Desarrollo Sostenible en el sector del olivar .....	95
Caso de estudio de economía circular: el desarrollo de un nuevo bioestimulante fisiológico a partir de sub-productos del olivar .....	113
Setas para una agricultura sostenible – el concepto MUSA .....	131





## **EDITORIAL**



**Julio Berbel Vecino**

**Director Científico de la Revista, investigador del ceiA3 y Catedrático de la Universidad de Córdoba**

En un mundo cada vez más consciente de los desafíos ambientales y económicos, la investigación científica se erige como una herramienta crucial para abordar los problemas que enfrenta la sociedad moderna. Cuatro destacados artículos científicos nos ofrecen una visión profunda y esclarecedora sobre cuestiones clave relacionadas con la sostenibilidad, la bioeconomía y la economía circular.

El primer artículo, "Efectos Ambientales y Económicos Favorables de los Coproductos de Etanol de Maíz en Brasil", destaca los avances en la producción de etanol a partir de maíz y su impacto en el entorno y la economía brasileña. Este estudio ofrece perspectivas valiosas sobre cómo la innovación en la producción de biocombustibles puede contribuir a la mitigación de los problemas ambientales y al desarrollo económico sostenible en la región y tiene enseñanzas útiles más allá de Brasil.

El segundo artículo, "Desde la Bioeconomía de Georgescu Roegen hasta la Bioeconomía amazónica", exploran la evolución de la bioeconomía desde las teorías de Georgescu Roegen hasta su aplicación en la rica biodiversidad de la Amazonía. Este viaje histórico y geográfico destaca la importancia de adaptar las teorías económicas a los entornos específicos, especialmente en regiones de gran diversidad biológica como la Amazonía.

El tercer artículo, "Pérdida y desperdicio de alimentos: uno de los grandes retos de la economía circular", arroja luz sobre la urgente problemática de la pérdida y el desperdicio de alimentos. Enfrentar este desafío se vuelve esencial en el contexto de una economía circular, donde la optimización de los recursos y la reducción de residuos son fundamentales. Este artículo ofrece un análisis detallado de las barreras y soluciones para abordar eficazmente esta cuestión crítica.

Finalmente, el cuarto artículo, "Análisis Estratégico de la Implantación de la Bioeconomía Circular en Andalucía a través del Análisis DAFO", nos lleva a una exploración más localizada. El estudio la implementación de la bioeconomía circular en la región de Andalucía. Este enfoque estratégico es esencial para adaptar las políticas y prácticas a las realidades específicas de una comunidad.

En conjunto, estos cuatro artículos representan una contribución significativa al avance del conocimiento en áreas críticas para el futuro sostenible. Nos invitan a reflexionar sobre la interconexión entre la ciencia, la economía y el medio ambiente, señalando caminos hacia soluciones innovadoras y sostenibles para los desafíos globales que enfrentamos. La colaboración interdisciplinaria y la aplicación práctica de estos hallazgos son cruciales para transformar estos conocimientos en acciones concretas que impulsen un cambio positivo en nuestro mundo.

En este número 4º de nuestra revista, dos casos de éxito destacados ofrecen un vistazo profundo a cómo la economía circular puede transformar no solo la forma en que cultivamos nuestros alimentos, sino también cómo aprovechamos los subproductos agrícolas.

El primero de estos casos, "Caso de estudio de economía circular: el desarrollo de un nuevo bioestimulante fisiológico a partir de sub-productos del olivar", nos presenta un ejemplo de la producción de bioestimulantes a partir de residuos de la producción de aceite de oliva. Este enfoque novedoso demuestra que los subproductos agrícolas, lejos de ser desperdicios, pueden convertirse en recursos valiosos para impulsar la productividad y sostenibilidad en la agricultura. Este caso de éxito resalta la importancia de cerrar el ciclo de vida

de los productos agrícolas, transformando lo que solía ser desechado en una herramienta esencial para mejorar el rendimiento de los cultivos.

El segundo caso, "Setas para una agricultura sostenible – el concepto MUSA", nos presenta una perspectiva única sobre cómo las setas pueden desempeñar un papel fundamental en la promoción de la sostenibilidad en la agricultura. Este caso ilustra cómo la naturaleza misma puede ser una aliada valiosa en la búsqueda de soluciones ecológicas y económicamente viables. Así, las setas no solo ofrecen soluciones innovadoras para el manejo de residuos agrícolas, sino que también presentan un potencial significativo para transformar la agricultura hacia un modelo más sostenible y regenerativo.

Reciban un cordial saludo.

Julio Berbel Vecino

Director Científico de la Revista, investigador del ceiA3 y Catedrático de la  
Universidad de Córdoba





## EDITORIAL



**Julio Berbel Vecino**

**Scientific Director of the Journal, ceiA3 researcher and Professor of the University of Cordoba**

In a world increasingly aware of environmental and economic challenges, scientific research is emerging as a crucial tool to address the problems facing modern society. Four leading scientific articles offer insightful and enlightening views on key issues related to sustainability, the bioeconomy and the circular economy.

The first article, "Favorable Environmental and Economic Effects of Corn Ethanol Coproducts in Brazil", highlights advances in the production of ethanol from corn and its impact on the Brazilian environment and economy. This study offers valuable insights into how innovation in biofuel production can contribute to the mitigation of environmental problems and sustainable economic development in the region and has useful lessons beyond Brazil.

The second article, "From Georgescu-Roegen's Bioeconomy to the Andean-Amazonian Bioeconomy", explores the evolution of the bioeconomy from Georgescu Roegen's theories to its application in the biodiversity-rich Amazon. This historical and geographical journey highlights the importance of adapting economic theories to specific environments, especially in biologically diverse regions such as the Amazon.

The third article, "Food loss and waste: One of the great challenges of the circular economy", sheds light on the urgent issue of food loss and waste. Tackling this challenge becomes essential in the context of a circular economy, where

resource optimisation and waste reduction are key. This article provides a detailed analysis of the barriers and solutions to effectively address this critical issue.

Finally, the fourth article, "Strategic analysis of the implementation of Circular Bioeconomy in Andalusia through SWOT analysis", takes us to a more localised exploration. It studies the implementation of the circular bioeconomy in the region of Andalusia. This strategic approach is essential to adapt policies and practices to the specific realities of a community.

Taken together, these four articles represent a significant contribution to the advancement of knowledge in areas critical to a sustainable future. They invite us to reflect on the interconnectedness between science, economics, and the environment, pointing the way towards innovative and sustainable solutions to the global challenges we face. Interdisciplinary collaboration and practical application of these findings are crucial to transform this knowledge into concrete actions that drive positive change in our world.

The issue also includes a monograph on the confluence of the Circular Bioeconomy, Biorefineries and Sustainable Development Goals in the olive sector, which reviews the main contributions of olive biomass-based biorefineries to the SDGs, both from an industrial point of view and from the point of view of cooperatives, which represent most olive production structures in Spain.

This 4th issue of our magazine also includes two outstanding success stories that offer an in-depth look at how the circular economy can transform not only the way we grow our food, but also how we make use of agricultural by-products.

The first of these cases, "Circular economy case study: the development of a new physiological biostimulant from olive by-products", presents an example of the production of biostimulants from olive oil production residues. This novel approach demonstrates that agricultural by-products, far from being waste, can become valuable resources to boost productivity and sustainability in agriculture. This success story highlights the importance of closing the life cycle of agricultural products, transforming what used to be discarded into an essential tool for improving crop yields.

The second case, "Mushrooms for enhanced agriculture sustainability – the *MUSA* concept", presents a unique perspective on how mushrooms can play a key role in promoting sustainability in agriculture. This case illustrates how nature itself can be a valuable ally in the search for ecologically and economically viable solutions. Thus, mushrooms not only offer innovative solutions for agricultural waste management, but also present significant potential for transforming agriculture towards a more sustainable and regenerative model.

Both success stories not only represent significant advances in agricultural research and development, but also offer a paradigm for the widespread adoption of more sustainable practices.

Sincerely,

Julio Berbel Vecino

Scientific Director of the Journal, ceiA3 researcher and Professor of the  
University of Cordoba





## **Efectos Ambientales y Económicos Favorables de los Coproductos de Etanol de Maíz en Brasil**

Luís Augusto Barbosa Cortez<sup>1</sup>, Sérgio Luiz Monteiro Salles-Filho<sup>2</sup> y Maicon Sbardella<sup>3</sup>

---

Autor de Correspondencia: labarbosacortez@gmail.com

---

### **Resumen:**

Brasil es un productor tradicional de etanol combustible a partir de caña de azúcar con coproducción de azúcar. Con ese modelo, produciendo azúcar y etanol, Brasil se convirtió en el primer productor y exportador de azúcar y el segundo productor de etanol combustible. Sin embargo, este modelo ya no se puede ampliar. El etanol de maíz se está convirtiendo en la alternativa para expandir la producción de etanol combustible debido a su potencial para producir proteína que se puede utilizar para alimentar ganado de carne. Brasil utiliza casi el 20% de su territorio, cerca de 200 Mha, para producir ganado vacuno y los residuos de etanol de maíz, como el DDG<sup>4</sup>, son el elemento clave para reducir los pastizales. Este artículo analiza esta nueva actividad económica en Brasil, así como su potencial para combinarse con políticas ambientales para reducir o incluso detener la deforestación en Brasil.

**Palabras clave:** Etanol de maíz, Coproductos, Brasil, bioeconomía, desarrollo económico.

## **Favorable Environmental and Economic Effects of Corn Ethanol Coproducts in Brazil**

Luís Augusto Barbosa Cortez<sup>1</sup>, Sérgio Luiz Monteiro Salles-Filho<sup>2</sup> and Maicon Sbardella<sup>3</sup>

### **Abstract:**

Brazil is a traditional producer of fuel ethanol from sugarcane with coproduction of sugar. With this model, producing sugar and ethanol, Brazil became the first producer and exporter of sugar and the second producer of fuel ethanol. However, this model can no longer be expanded. Corn ethanol is becoming the alternative to boost fuel ethanol because of its potential to produce protein which can be used to feed beef cattle. Brazil employs nearly 20% of its territory, nearly 200 Mha, to produce beef cattle and corn ethanol coproducts such as DDG<sup>5</sup>, which are the key element to reduce pasture land. This article analyzes this new economic activity in Brazil as well as its potential to be combined with environmental policies to reduce or even stop deforestation in Brazil.

**Key Words:** Corn ethanol, Coproducts, Brazil, bioeconomy, economic development

---

<sup>1</sup> Núcleo Interdisciplinar de Planificación Energética (NIPE), Universidad Estatal de Campinas (UNICAMP), Brasil

<sup>2</sup> Instituto de Geociencias (IGE), Universidad Estatal de Campinas (UNICAMP), Brasil

<sup>3</sup> Instituto de Ciencias Agrarias y Ambientales, Universidad Federal de Mato Grosso (UFMT), Brasil

<sup>4</sup> DDG es una abreviación del inglés para Dry Distillers Grains. El DDG es un coproducto rico en fibras y proteína, obtenido de la producción de etanol de maíz. Normalmente el DDG es utilizado como alimento animal, particularmente para ganado.

<sup>5</sup> DDG is the abbreviation of Dry Distillers Grains, a coproduct from corn ethanol production, rich in fiber and protein. DDG is commonly used as animal feed, particularly for beef cattle.

## 1. INTRODUCCIÓN

Brasil produce etanol de caña de azúcar para uso combustible desde el inicio del siglo XX. El país era considerado pobre en recursos petrolíferos y relativamente rico en recursos naturales para fines agrícolas, como tierra, sol y agua. Por esta razón, la caña de azúcar introducida por los portugueses desde el inicio de la colonización ha prosperado principalmente en las regiones Nordeste y Sudeste de Brasil.

El etanol combustible producido a partir de caña de azúcar tomó un gran impulso a partir de la crisis del petróleo en los años 70, cuando la producción recibió estímulo económico gubernamental con intensa participación del sector privado nacional y de las ensambladoras de vehículos. La producción industrial de etanol combustible de caña de azúcar pasó a estar basada en producir conjuntamente azúcar y etanol en la misma industria. Pocas centrales producen etanol exclusivamente y ninguna azúcar. Este modelo de producción fue muy exitoso hasta que se identificó la incapacidad de aumentar las exportaciones de azúcar puesto que Brasil, con este modelo, se tornó el principal exportador mundial (CORTEZ, 2016).

Con este modelo agotado, debido a la saturación del mercado de azúcar, la producción tanto de etanol como de azúcar no ha podido crecer tanto como en los últimos diez años. Es necesario adoptar otro modelo de producción, donde los coproductos pudieran ser utilizados de forma más flexible con mercados más grandes y así, permitir el crecimiento de la producción de etanol combustible, que hasta el momento es bastante más adaptable. (SALLES FILHO et al., 2016).

En este sentido, dos posibles modelos se presentan como alternativas para la expansión de la producción de etanol combustible en Brasil: el etanol producido con el uso de productos lignocelulósicos o el producido a partir de maíz (CORTEZ and ROSILLO-CALLE, 2023). El modelo del etanol de productos lignocelulósicos es producido en menor escala y todavía necesita de incentivos económicos que viabilicen su comercialización.

Este trabajo tiene como objetivo principal discutir esta segunda variante como alternativa prometedora y sus impactos positivos esperados directos para el medio ambiente con el fin de la deforestación legal e ilegal, así como los impactos indirectos para favorecer una nueva bioeconomía basada en el uso de coproductos.

## 2. LA PRODUCCIÓN DE ETANOL DE MAÍZ EN LOS EEUU

En los EEUU el uso a gran escala del etanol combustible ha tomado fuerza efectivamente al inicio de este siglo. En las décadas anteriores, la producción de etanol de maíz era una actividad de relativa poca importancia, pero eso empezó a cambiar con la prioridad dada por el gobierno estadounidense para reducir la importación del petróleo y su correspondiente sustitución por alternativas nacionales.

La producción de etanol de maíz ha incrementado rápidamente con el aumento de etanol mezclado a la gasolina y el surgimiento del combustible E85. Actualmente, el volumen de etanol combustible para estos dos mercados es de aproximadamente 67 mil millones de litros (cerca de 17 mil millones de galones) anualmente. Gran parte de la gasolina sin plomo usa etanol como aditivo en porcentajes que hoy en día están cerca del 10% en volumen.

La producción de etanol combustible de maíz está principalmente concentrada en el cinturón de maíz (*corn belt*) que involucra a los estados de Illinois, Indiana, Iowa, Michigan, Minnesota, Missouri, Ohio y Wisconsin. Por esta razón, el incremento de la producción de etanol de maíz en los EEUU puede ser considerada una política del Estado para fortalecer a los productores agrícolas. Esto se sucede debido al gran uso de maíz para esta finalidad, cerca de 30%<sup>6</sup> de la producción. Entretanto este alto porcentual no se verificó como una menaza a el mercado de alimentos de maíz (ROSILLO-CALLE and JOHNSON, 2010).

Otro importante impacto en la producción de etanol de maíz en los EEUU fue el uso de coproductos ricos en proteína y energía, conocidos genéricamente

---

<sup>6</sup> La producción de maíz en los EEUU fue de aproximadamente 380 millones de toneladas y la producción de etanol combustible de 67 mil millones de litros en 2021.

como DDG y WDG<sup>7</sup>, utilizados en la alimentación animal, principalmente para ganado de carne. Hoy en día, se puede afirmar que posiblemente 80% de los coproductos son utilizados para la producción de carne de vacuno, mientras los 20% restante es usado en dietas para cerdos y aves.

Importante observar que la vía seca es más intensiva en energía y produce menos etanol por hectárea que la vía húmeda (RAJAGOPALAN, et al., 2005). La productividad promedio esperada de una tonelada de maíz es: 378 litros de etanol y 479 kg de WDG (70% de humedad), o 309 kg de DDGS (10% de humedad).

Por un lado, estas prácticas resultan en una mayor sustentabilidad económica tanto de los productores de maíz como de los productores de carne de ganado, y por el otro, la industria del etanol de maíz en los EEUU siempre ha recibido críticas debido a sus altas emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) además de no representar grandes beneficios ambientales.

En resumen, se puede afirmar que la producción de etanol de maíz en los EEUU está basada en un trípode:

- la gran capacidad de producción de maíz con alta productividad;
- la utilización de gas de esquisto como fuente energética industrial; y
- la integración con la producción de ganado vacuno.

Por estas razones, la producción de etanol de maíz en los EEUU puede ser considerada un ejemplo concreto, de larga escala y consecuentemente representa un modelo a ser estudiado por otros países, como Brasil.

### **3. ¿POR QUÉ EL ETANOL DE MAÍZ PRODUCIDO EN BRASIL PUEDE TENER IMPACTOS AMBIENTALES Y ECONÓMICOS POSITIVOS?**

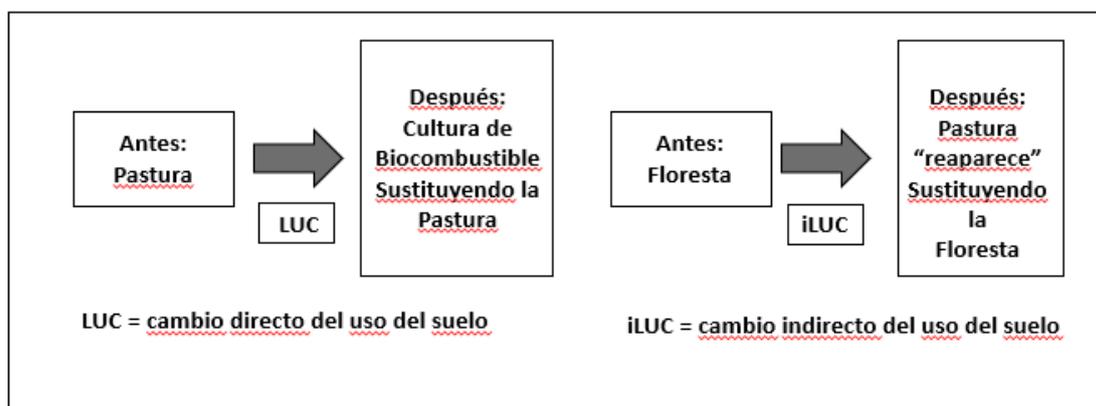
Los impactos de la producción de biocombustibles dependen de la materia prima utilizada pero también de varios otros factores. No existe una única evaluación, por tanto, comprender las condicionantes locales es fundamental en el análisis. Por ejemplo, el etanol de maíz producido en los EEUU usando gas

---

<sup>7</sup> El etanol de maíz es producido por dos vías, húmeda y seca. De la vía húmeda resulta un coproducto húmedo (DWG) y de la seca el DDG.

de esquivo puede resultar en emisiones muy distintas a las del etanol de maíz producido con leña o bagazo de caña de azúcar en Brasil. Además, como se ha visto, el uso de los coproductos puede tener otros efectos, que podrían ser determinantes en una evaluación más general. También, como veremos enseguida, la manera en la que el maíz es producido impacta mucho en las emisiones totales.

Un importante trabajo publicado por SEARCHINGER et al. (2008) ha introducido el concepto del cambio directo del uso ( $LUC^8$ ) y cambio indirecto del uso del suelo ( $iLUC^9$ ) (Figura 1). El etanol de caña producido en Brasil llegó a ser criticado internacionalmente por causar  $iLUC$  en la Amazonia, lo que nunca ha sido probado (NASSAR et al., 2008).

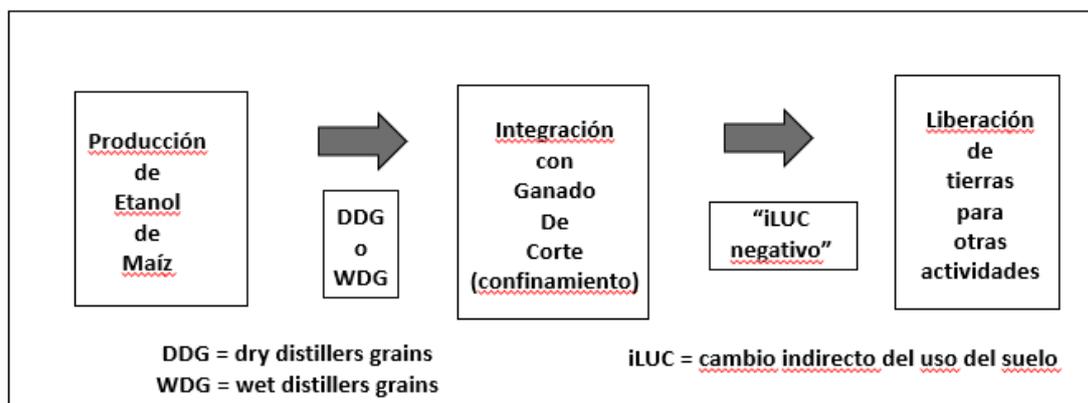


**Figura 1.** Diagrama de efectos de cambios directos ( $LUC$ ) e indirectos ( $iLUC$ ) de uso del suelo.  
**Fuente:** Elaboración propia

Haciendo uso de este mismo concepto, ahora con la producción de etanol de maíz y los coproductos, se puede decir que el resultado será un  $iLUC$  negativo, o sea, que la producción de etanol de maíz integrada a la ganadería pecuaria tendrá como resultado final una liberación de tierras para otras actividades (Figura 2).

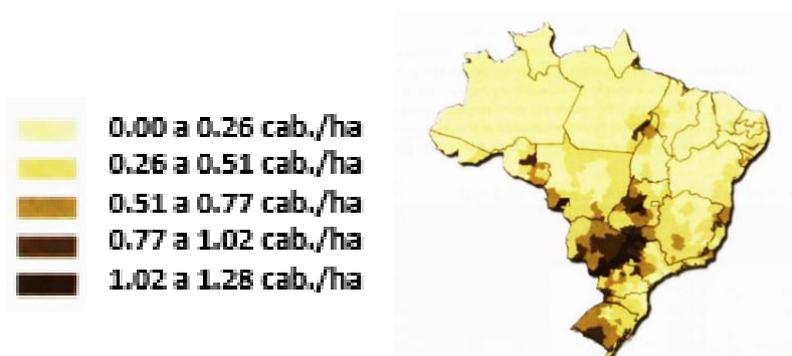
<sup>8</sup>  $LUC$  es una abreviación en inglés para cambio directo del uso del suelo. Son las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) debido al cambio del uso de la tierra, por ejemplo, de pastura para maíz.

<sup>9</sup>  $iLUC$  es una abreviación en inglés para cambio indirecto del uso del suelo. Son las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) debido al cambio secundario o posterior del uso de la tierra, por ejemplo, que la pastura inicialmente remplazada por el maíz "reaparece" en la forma de reducción de florestas.



**Figura 2:** iLUC negativo resultante de la integración de la producción de etanol de maíz con ganado vacuno. **Fuente:** Elaboración propia

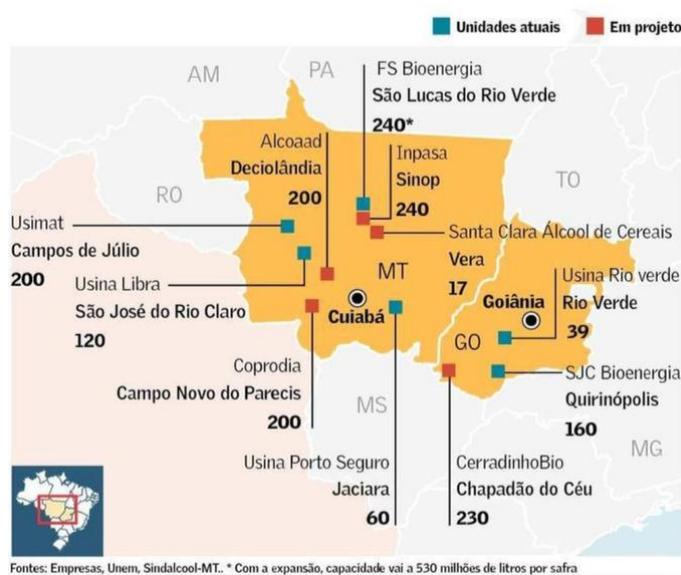
Esto se debe a que, en Brasil, la actividad pecuaria de ganado vacuno es una actividad poco intensiva, de baja densidad (Figura 3) y relativamente poca producción de carne por hectárea al año. Debido a eso, cuanto mayor el "efecto de intensificación" de la ganadería causado por el uso de los coproductos, más importante puede ser el iLUC y consecuentemente más bajas las emisiones. En otras palabras, el uso de coproductos de la producción de bioetanol de maíz produciría una intensificación en la producción ganadera en Brasil y eso llevaría a liberar tierra que era usada por el ganado para otras actividades agrícolas o forestales. La cuantificación de este fenómeno aquí llamado "efecto de intensificación" es un aspecto considerado importante en la expansión de la producción de etanol de maíz en Brasil.



**Figura 3.** Densidad de ganado de carne por microrregión en Brasil – 2003. **Fuente:** Datos del IBGE, Base Agrotec de la SGE/ Embrapa (2005)

#### 4. FACTORES QUE PUEDEN CONTRIBUIR PARA LA EXPANSIÓN DEL ETANOL DE MAÍZ EN BRASIL

La producción de etanol de maíz ya ocurre en cerca de 20 usinas en la región Centro-Oeste de Brasil. En la figura 4 se destaca la localización de las primeras usinas de etanol de maíz en los estados de Mato Grosso y Goiás. Estas usinas o destilerías se benefician de los bajos costos de la producción de maíz, los elevados precios del etanol, y la existencia de una importante actividad de ganado vacuno. Además de estos puntos, existen otras ventajas comparativas que pueden permitir una expansión continuada de este modelo de producción.



**Figura 4.** Usinas o destilerías de etanol de maíz en la región Centro-Oeste de Brasil, su localización y capacidad anual de producción (millones de litros). **Fuente:** Empresas, UNEM, Sindalcool-MT en Valor Econômico (2018)

El primer factor a ser considerado es que, en la región Centro-Oeste de Brasil, el maíz es producido como segunda cultura en el año agrícola. Primeramente, la soya es plantada en el verano y después, como segunda zafra o "*safrinha*", el maíz. Esta doble ocupación de la tierra es posible gracias a factores climáticos e insolación. Actualmente, cerca de 36 millones de hectáreas son plantadas con soya en primera zafra y aproximadamente 20 millones de hectáreas de maíz en segunda zafra o "*safrinha*", como es conocida en Brasil. Esto quiere decir que, aunque la productividad es relativamente baja (cerca de seis toneladas de granos por hectárea) todavía es posible un crecimiento importante de la producción de maíz en Brasil.

Un segundo factor a considerar es el combustible necesario para la industria. A diferencia de lo que ocurre en los EEUU, en Brasil la fuente energética utilizada primordialmente es la biomasa vegetal. Brasil cuenta con tres tipos de destilerías de etanol de maíz:

- Destilerías tipo full o solamente de etanol de maíz. En estas usinas se opera 12 meses al año usando únicamente maíz como materia prima;
- Destilerías flex que operan con caña en la zafra y con maíz en la entre zafra de la caña. En estas usinas se opera con caña por cerca de 7 meses y con maíz los 5 meses restantes del año;
- Destilerías flex que operan todo el año con caña y maíz. Estas son en realidad, dos usinas operando en paralelo, una usina operando 7 meses con caña y la otra usina con maíz operando 12 meses por año.

La leña de eucalipto plantado es el combustible en el primer caso. En los otros dos, el bagazo de la caña es suficiente para garantizar la energía necesaria en el proceso. Esto representa una importante contribución y un diferencial en la sustentabilidad de la producción de etanol de maíz en Brasil.

Un tercer punto muy importante es el relativo al uso de los coproductos de la producción de etanol de maíz. Como dicho anteriormente, la densidad de ganado vacuno en Brasil puede ser considerada baja. Los actuales 220 millones de cabezas de ganado ocupan aproximadamente 200 millones de hectáreas de tierra, o sea cerca del 20 al 25% del suelo en Brasil. Cuando se compara con el tamaño de la Amazonia (casi 450 millones de hectáreas) y de la tierra actualmente utilizada por la agricultura brasileña (cerca de 70 millones de hectáreas) se puede tener una idea que el mencionado "efecto de intensificación"<sup>10</sup> puede tener.

Estos tres factores, maíz en segunda zafra, biomasa vegetal como energía, y el "efecto de intensificación" o iLUC negativo sumados pueden resultar en una actividad con resultados ambientales y económicos altamente positivos.

---

<sup>10</sup> El efecto de intensificación es esperado por que el uso del DDG irá permitir una intensificación de la actividad de ganado de corte en Brasil, sobre todo en zonas donde la densidad de ganado es muy baja.

## 5. EFECTO SUSTITUTIVO DE LOS COPRODUCTOS DE ETANOL DE MAÍZ PARA INTENSIFICACIÓN DE LA GANADERÍA PECUARIA BASADA EN PASTURA

Los coproductos de granos de destilería (*DDG* o *WDG*) poseen altas concentraciones de proteína, energía, minerales y fibra. Estos coproductos pueden ser incorporados en dietas para animales de producción, como ganado de corte o leche, porcinos y aves, en reemplazo de ingredientes comúnmente utilizados como sorgo, maíz, harina de soya, torta de algodón, entre otros. Además, las posibilidades de uso van desde la suplementación de animales en pastoreo hasta la alimentación de animales en confinamiento. Sin embargo, más allá de un ingrediente alimentario, la utilización de *DDG* en suplementos puede ser una estrategia para la intensificación de la producción de rumiantes en pasturas y reducción de las áreas de pastoreo.

Aunque el potencial sustitutivo de los *DDG* no esté bien delimitado en las condiciones de las pasturas en Brasil, vale la pena reflexionar a partir de un ejercicio hipotético. Se utilizaron como referencia las necesidades nutricionales (BENEDETI et al., 2016) para terneros machos con 300 kg de peso vivo, con una ganancia de peso de 800 g/día y un consumo diario de materia seca de 6.97 kg/día, criados en pasturas con carga animal promedio de 1 animal/hectárea. A partir de estos datos, se estimó el consumo de pasto y la carga animal en diferentes escenarios de suministro de suplemento concentrado a base de *DDG* según los datos presentados en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Efecto sustitutivo del suministro de suplemento concentrado a base de *DDG* (formulados con 40% de *DDG*) sobre el consumo de pasto y carga animal

Parámetros	Suministro de suplemento concentrado (% del peso vivo)						
	0.0	0.3	0.5	0.7	1.0	1.3	1.5
Consumo total de alimento (kg de MS/día)	6.97	6.97	6.97	6.97	6.97	6.97	6.97
Consumo de suplemento (kg de MS/día)	0.00	0.90	1.50	2.10	3.00	3.90	4.50
Consumo de pasto (kg MS/día)	6.97	6.07	5.47	4.87	3.97	3.07	2.47
Carga animal (animal/hectárea)	1.00	1.13	1.21	1.30	1.43	1.56	1.65

En términos prácticos, se observa que el suministro de suplemento concentrado a base de *DDG* puede tener un impacto significativo en el consumo de pasto y la carga animal en ganado de corte criados en pastoreo, dependiendo del

nivel de suplementación (incremento de hasta alrededor de 50% en la carga animal). Estos resultados apuntan hacia una posible estrategia de intensificación de la producción de rumiantes en pasturas, reduciendo las áreas de pastoreo necesarias. Por supuesto, es importante tener en cuenta que estos resultados deben interpretarse con precaución por tratarse de un ejercicio hipotético simplificado, ya que se debe tener en cuenta la complejidad de factores involucrados en diferentes escenarios. Pero es innegable que la integración de la producción de etanol de cereales con la intensificación de la ganadería basada en pastoreo (y/o como ingrediente alimentario para otros animales) hace referencia a una economía circular. Sin embargo, investigaciones deben ser realizadas en el sentido de establecer los parámetros de intensificación en diferentes condiciones brasileñas de producción para la aplicación precisa de modelos.

## 6. CONCLUSIONES

Brasil ha logrado construir un importante programa de biocombustibles a partir de las dificultades que surgieron a partir de las crisis de los años 70. Un gran parque industrial de usinas fue creado para producir etanol. El modelo adoptado desde entonces fue la coproducción de azúcar y etanol para garantizar su viabilidad económica. Sin embargo, la producción de azúcar creció mucho conjuntamente a la producción de etanol, eventualmente agotando este modelo de producción. En función de esto, Brasil necesita buscar otro modelo de producción de etanol combustible si desea aumentar el volumen anual y atender las metas del RenovaBio<sup>11</sup>.

Hay dos modelos alternativos que pueden ser considerados para la expansión de la producción de etanol en Brasil. El primero sería la producción de etanol celulósico. Este modelo es aparentemente perfecto pues elimina la posibilidad de competir con alimentos y valora todavía más la materia prima, se catalogó como muy complejo. Hasta hoy, únicamente la empresa Raízen del Grupo Cosan ha logrado una producción cercana a los 20 mil litros anuales, todo

---

<sup>11</sup> RenovaBio es una iniciativa del Ministerio de Minas y Energía (MME) de Brasil, lanzada en diciembre de 2016, que tiene como objetivo ampliar la producción de biocombustibles, con base en la previsibilidad y la sostenibilidad ambiental, económica y social.

dirigido a la exportación debido a los incentivos asociados a las muy bajas emisiones de CO<sub>2</sub>.

Otra alternativa, discutida en este trabajo, es la producción de etanol de maíz. Como fue presentado, esto ya está ocurriendo en la región Centro-Oeste de Brasil (estados de Mato Grosso-MT, Goiás-GO y Mato Grosso do Sul-MS) donde ya existen 20 usinas instaladas de etanol de maíz o usinas flex (caña + maíz). Estas usinas por el momento producen etanol para el mercado regional, así como suministran los coproductos ricos en proteína sobre todo a la producción de ganado de carne. Importante decir que la región Centro-Oeste es la mayor productora de granos, en especial de maíz y de carne de ganado del país.

En el trabajo fueron presentadas las razones por las que el etanol de maíz producido en las condiciones del Centro-Oeste de Brasil puede tener impactos ambientales, *iLUC* negativo debido a la reducción de la área de pastura, y económicos muy positivos. Los tres principales factores destacados son la producción de maíz en segunda zafra, el uso de biomasa vegetal como fuente energética industrial y el llamado "efecto de intensificación" o *iLUC* negativo causado por el uso de los coproductos para ganado vacuno.

Finalmente, se recomienda que se hagan estudios en otras regiones donde la presencia de factores semejantes pueda llevar a una producción de biocombustibles más sustentable.

## **EXPRESIONES DE GRATITUD**

Agradecimiento a el Consejo Nacional de Desenvolvimento Científico y Tecnológico de Brasil – CNPq.

Un agradecimiento especial a María José Elizarrarás de la Red INNOVAGRO por traducir este artículo al español.

## REFERENCIAS

BENEDETI, P.D.B., PRADOS, L.F., COSTA E SILVA, L.F., LOPES, S.A., VALADARES FILHO, S.C. "Planilha para cálculo das exigências nutricionais de bovinos em crescimento e terminação (BR-Corte 2010 e BR-Corte 2016)". 2016. Disponible en [www.brcorte.com.br](http://www.brcorte.com.br). Acceso en 02/05/2023.

CORTEZ, L.A.B. (Coord.)(2010). "Sugarcane Bioethanol: R&D for productivity and sustainability" ISBN 978-85-212-0530-2, Editora Edgard Blucher, 992p. Disponible en: <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/openaccess/sugarcane-bioethanol/completo.pdf>

CORTEZ, L.A.B. (Org.) (2016). "Universidades e empresas: 40 anos de ciência e tecnologia para o etanol brasileiro" 224p., Editora Blucher, São Paulo.

CORTEZ, L.A.B. and ROSILLO-CALLE, F. (2023). "The Future Role of Biofuels in the New Energy Transition" Editora Blucher, São Paulo. (in Press)

DA SILVA, A.L. and J.A. CASTAÑEDA-AYARZA. (2021). Macro-environment analysis of the corn ethanol fuel development in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 135, 110387, 14p.

DE SOUZA, N. R. D., FRACAROLLI, J. A., JUNQUEIRA, T. L., CHAGAS, M. F., CARDOSO, T. F., WATANABE, M. D., & CORTEZ, L. A. B. (2019). Sugarcane ethanol and beef cattle integration in Brazil. *Biomass and Bioenergy*, 120, 448-457.

DE SOUZA, N.R.D. de. (2017). *Techno-Economic and Environmental Evaluation of Beef Pasture Intensification with Sugarcane Ethanol*. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia Agrícola-FEAGRI, UNICAMP, 86p. <file:///E:/Nariê/Tese%20Nariê.pdf>

ERICKSON, G.E., T.J. KLOPFENSTEIN, D.C. ADAMS, and R.J. RASBY. (2005). Utilization of corn coproducts in the beef industry. - A joint project of the Nebraska Corn Board and the University of Nebraska-Lincoln, Institute of Agriculture and Natural Resources, Agricultural Research Division, Cooperative Extension Division. [www.nebraskacorn.org](http://www.nebraskacorn.org)

IBGE, Base Agrotec de la SGE/ Embrapa in EMBRAPA (2005) "Sistemas de Produção de Gado de Corte no Brasil: uma descrição com ênfase no regime alimentar e no abate" • no Regime Alimentar e no Abate" Documentos 151, ISSN 1517-3747, Brasil, Outubro, 2005. Disponible en [Sistemas de produção de gado de corte no Brasil: uma descrição com ênfase no regime alimentar e no abate. - Portal Embrapa](#)

LEE, U. et al. (2021). Retrospective analysis of the U.S. corn ethanol industry for 2005–2019: implications for greenhouse gas emission reductions. *Biofpr*, DOI: 10.1002/bbb.2225; *Biofuels*, *Bioprod. Bioref.* 15:1318–1331 (2021). Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/bbb.2225>

MOREIRA, M.M.R.; J.E.A. SEABRA; L.R. LYND; S.M. ARANTES; M.P. CUNHA; J.J.M. GUILHOTO. (2020). Social-Environmental and Land-Use Impacts of Double-Cropped Maize Ethanol in Brazil. *Nature Sustainability*, 3, pages209–216. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41893-019-0456-2>

SALLES FILHO, S.L.M.; CORTEZ, L.A.B.; DA SILVEIRA, J.M.J.; TRINDADE, S.C. (Editors). (2016). "Global Bioethanol: evolution, risks, and uncertainties" Elsevier and Academic Press, ISBN: 978-0-12-803141-4, 258p.

NASSAR, A. M.; RUDORFF, L. B.; ANTONIAZZI, L. B.; AGUIAR, D. A.; BACCHI, M. R. P.; ADAMI, M. (2008). Prospects of sugarcane expansion in Brazil: impacts on direct and indirect land use changes. In: ZUURBIER, P.; Van de VOOREN, J. (Eds.), *Sugarcane Ethanol*, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands, p. 63-93.

NEVES, M.F. A Sustentabilidade do Etanol de Milho no Brasil / ICMIPA - Integração Cana, Milho e Proteína Animal. (2020). Disponível en: [https://drive.google.com/file/d/15HLtyA6XcV1o4LOEyVla89SDeM8\\_lEcj/view?ts=63c09ab3](https://drive.google.com/file/d/15HLtyA6XcV1o4LOEyVla89SDeM8_lEcj/view?ts=63c09ab3)

OLIVÉRIO, J.L. Usinas Flex – usina de etanol de cana e milho. Apresentação DEDINI ppt, 51 slides (sin fecha)

RAJAGOPALAN, S., E. PONNAMPALAM, D. McCALLA, and M. STOWERS. (2005). Enhancing Profitability of Dry Mill Ethanol Plants. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 120(1):37-50. Disponible en: <https://europepmc.org/article/med/15640556>

Renewable Fuels Association. [How Ethanol is Made](https://ethanolrfa.org/ethanol-101/how-is-ethanol-made). (2005). Disponible en: <https://ethanolrfa.org/ethanol-101/how-is-ethanol-made>

ROSILLO-CALLE, F. and JOHNSON, F. (2010). Food versus Fuels: an informed introduction to biofuels, Disponible en: <https://www.amazon.com.br/Food-versus-Fuel-Informed-Introduction/dp/1848133839>

US GRAINS COUNCIL. (2023). High Protein Handbook for DDGS. Disponible en: <https://grains.org/buying-selling/ddgs/user-handbook/>

VALOR ECONÔMICO. (2018). Etanol avança no Centro-Oeste. Agronegocios. 30/01/2018. Disponible en: <https://valor.globo.com/agronegocios/noticia/2018/01/30/etanol-de-milho-avanca-no-centro-oeste.ghtml>



## **Desde la Bioeconomía de Georgescu-Roegen hasta la Bioeconomía andeamazónica**

Jorge León Quiroga Canaviri<sup>1</sup> y Carlos Ricardo Menéndez Gámiz<sup>2</sup>

---

Autor de Correspondencia: [jquiroga.docente@umsa.info.bo](mailto:jquiroga.docente@umsa.info.bo)

---

### **Resumen:**

Revisados los aportes científicos a la Bioeconomía de Nicholas Georgescu-Roegen, renombrado Economista Ecológico y precursor de la Bioeconomía europea, el objetivo general de esta investigación es analizar dichos aportes vinculados con corrientes epistemológicas de América Latina y el Caribe (ALC), que dieron paso a la "Bioeconomía andeamazónica" (BAA). Los objetivos específicos son i) examinar el estado del arte de la bioeconomía, explorando las limitaciones que motivaron la ampliación conceptual de la bioeconomía aplicable al contexto andeamazónico y ii) analizar como las teorías bioeconómicas se integraron efectivamente con principios bioeconómicos, apoyados en tres nuevas variables: biocultura, bioterritorialidad y bioinformación. El material utilizado son libros y artículos de autores clave como Georgescu-Roegen, Dennis y Donella Meadows, Boaventura de Sousa Santos y Alberto Acosta entre otros, complementados por investigadores contemporáneos afines y contrarios a Georgescu-Roegen, incluido uno de los autores de este artículo que impulsó la BAA. Se empleará el método bibliométrico para la pesquisa literaria que permita cumplir con los objetivos específicos y el método deductivo que al ir de lo general a lo particular permitirá inferir conclusiones a partir de las premisas estudiadas en el tránsito bioeconómico desde Georgescu-Roegen hasta la BAA. El resultado y conclusión final del abordaje validará el que la Bioeconomía propuesta por Georgescu-Roegen en los años 70, hoy reaparezca como alternativa viable y ampliada, tanto teórica, como conceptual y metodológicamente, para solucionar problemas complejos como cambio climático, inseguridad alimentaria y enfermedades pandémicas en latitudes como Bolivia, donde fue pertinente incluir categorías culturales, territoriales y de información.

**Palabras clave:** Amazonía; Andes; Biocultura; Bioeconomía, Vivir Bien.

## **From Georgescu-Roegen's Bioeconomy to the Andean-Amazonian Bioeconomy**

Jorge León Quiroga Canaviri<sup>1</sup> and Carlos Ricardo Menéndez Gámiz<sup>2</sup>

### **Abstract:**

Having reviewed the scientific contributions to the Bioeconomy of Nicholas Georgescu-Roegen, renowned Ecological Economist and precursor of the European Bioeconomy, the general objective of this research is to analyze these contributions linked to epistemological currents in Latin America and the Caribbean (LAC), which gave way to the "Andean and Amazon Bioeconomy" (AAB). The specific objectives are i) examine the state of the art of bioeconomics, exploring the limitations that motivated the conceptual expansion of bioeconomics applicable to the Andean-Amazonian context and ii) analyze how bioeconomic theories were effectively integrated with bioeconomic principles, supported by three new variables: bioculture, bioterritoriality and bioinformation. The material used are books and articles by key authors such as Georgescu-

---

<sup>1</sup> Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), Bolivia

<sup>2</sup> Egresado de la Universidad Autónoma Chapingo, México ([carnega2020@gmail.com](mailto:carnega2020@gmail.com))

Roegen, Dennis and Donella Meadows, Boaventura de Sousa Santos and Alberto Acosta among others, complemented by contemporary researchers similar to and opposed to Georgescu-Roegen, including one of the authors of this article. that promoted the AAB. The bibliometric method will be used for literary research that allows the specific objectives to be met and the deductive method that, by going from the general to the particular, will allow conclusions to be inferred from the premises studied in the bioeconomic transition from Georgescu-Roegen to the AAB. The final result and conclusion of the approach will validate that the Bioeconomy proposed by Georgescu-Roegen in the 70s, today reappears as a viable and expanded alternative, both theoretically, conceptually and methodologically, to solve complex problems such as climate change, food insecurity and diseases. pandemics in latitudes such as Bolivia, where it was pertinent to include cultural, territorial and information categories.

**Key Words:** Amazon; Andean; Bioculture; Bioeconomy; Living Well.

## 1. INTRODUCCIÓN

Para transitar de la Bioeconomía de Nicholas Georgescu-Roegen a la BAA, se definió como objetivo general, analizar los aportes de Georgescu-Roegen para vincularlos con corrientes epistemológicas emergentes en América Latina y el Caribe (ALC), que dieron paso a la BAA.

Con este propósito se adaptó la paradoja del valor de Georgescu-Roegen (1983) a la realidad actual, para encontrar soluciones a problemas globales, siguiendo la senda forjada por economistas y científicos sociales durante más de un siglo, solo que ahora se incluyó la multidimensionalidad al análisis, como argumento renovado desde una perspectiva epistemológica del Sur, para entender el desarrollo en coincidencia con los fundamentos del libro “De la Filosofía a la Política Pública: Índice Multidimensional del Vivir Bien y la Bioeconomía (Quiroga & Zaiduni, 2021)

Lo dicho concuerda con el principio económico de escasez señalado por Georgescu-Roegen en su teoría del decrecimiento, contrario a los índices convencionales de la pobreza, cuya secuencia lógica fue la base de la BAA, empero la misma se amplió frente a los postulados iniciales de Georgescu-Roegen.

*“...la tendencia humana normal de sentir que el mundo se nos viene encima cuando necesitamos algo con urgencia y no podemos adquirirlo en una cantidad suficiente. Por lo tanto, lo que parece escasear tan frecuentemente en cualquier tiempo es la abundancia de la que*

*dependen el bienestar y la felicidad. En consecuencia, ese factor debe ser la fuente del valor económico” (Georgescu-Roegen, 1983, p.829).*

Esta cita dio pie a la Biocultura entendida como la convergencia de saberes ancestrales y tecnologías modernas, añadidos a la Bioeconomía, permitiendo ligar el precepto constitucional del Vivir Bien en Bolivia como equivalente del bienestar, así como nuevos indicadores denominados bioterritorialidad y bioinformación.

También se trazó un primer objetivo específico dirigido a examinar el estado del arte de la bioeconomía, no sin antes recapitular obras y ensayos precedentes tanto de Georgescu-Roegen como de otros autores quienes transitaron de la Economía Ecológica a la Bioeconomía. Se cimentaron las leyes de la termodinámica y energía de baja entropía para superar los enfoques clásicos, ortodoxos y heterodoxos, pasando de lo lineal a lo circular, lo que amerita explorar las críticas y limitaciones que motivaron la ampliación conceptual de la bioeconomía aplicada al contexto andeamazónico.

Desde fines de los años 60 e inicios de la década de los años setenta, se formaron bioeconomistas, en la Universidad de Dartmouth, en New Hampshire, institucionalizando en su oferta académica, la definición de “Bioeconomía como la Ciencia de la Sobrevivencia” sustentada en ocho principios importantes (Brackett, 1970, p. 14).

i) La supervivencia de la vida es el primer y principio fundamental de la bioeconomía, ii) La energía es la base de la vida y la riqueza y su única fuente renovable es la radiación solar, iii) El propósito es mantener la máxima utilización de energía radiante que fluye de forma más organizada que la luz, iv) La competencia por los recursos dentro y entre especies es intensa, pero debe ser controlada, v) El progreso en la naturaleza es el aumento de la potencia para explotar la energía de manera más eficaz, iv) Las poblaciones deben ajustarse en número a la disponibilidad de energía o recursos y a los poderes individuales de explotación, vii) La cultura o la tecnología, es el mecanismo de explotación del hombre, no sujeto a controles evolutivos y viii) La capacidad de transporte resume el estado de

los recursos de población de una especie y determina el tamaño óptimo de una población. (Brackett, 1970, pp. 17-18).

Es oportuno mencionar que mientras esto sucedía, en otras coordenadas y en 1970, se otorgaba el premio nobel de la paz a Norman Ernest Borlaug, creador de la “Revolución Verde” basada en paquetes tecnológicos que incluían el insecticida diclorodifeniltricloroetano (DDT) para controlar sobrepoblaciones de insectos que afectaban la agricultura industrial, pero que también eran dañinos para el ser humano.

Georgescu-Roegen, adelantándose a los esposos Meadows, autores del informe del Club de Roma (Meadows et al., 1972), prospectó lo que hoy se vive, permitiendo a la Bioeconomía europea erigirse como el mejor paradigma productivo que reincorpora la naturaleza y biomasa residual, proveniente sobre todo de la agricultura, para su reciclaje (Georgescu-Roegen, 1971). En su libro “Ley de la Entropía y el Proceso Económico” planteó la segunda ley de la termodinámica, generadora de energía de baja entropía, para producir bioproductos hoy conocidos como biocombustibles, biorremediadores de suelos, bioinsumos, biomedicamentos, nutracéuticos, biocosméticos y una variada gama de ellos, que a la par de satisfacer las necesidades humanas, permitan cuidar la biósfera planetaria.

En sus otras obras Georgescu-Roegen (1976) formuló la pregunta “¿Qué habrían hecho los propios físicos si las propiedades de la materia hubieran estado sujetas a un cambio tan rápido como el del proceso económico?”

*“...fue la nueva representación del proceso económico lo que permitió cristalizar los pensamientos al describirlo por primera vez como transformación entrópica de recursos naturales valiosos (baja entropía) en desechos sin valor (alta entropía). El verdadero producto del proceso económico es un flujo inmaterial, definido como el disfrute de la vida, cuya relación con la transformación entrópica de materia-energía aún está envuelta en un misterio” (Georgescu-Roegen, 1976).*

Sin embargo, en la actualidad esos buenos propósitos se distorsionaron, por el mantenimiento del antropocentrismo y egocentrismo humanos, cuya primacía

de intereses individuales, antes que intereses colectivos, condujeron a que la Bioeconomía se convierta en todo menos aquello que Georgescu-Roegen esperaba, retornando al consumismo y utilitarismo, propios del Antropoceno descrito por Paul J. Crutzen y a la fase superior del “Capitaloceno entendido como fase interna de la mundialización capitalista” (Altvater, 2014). Ello significa que los últimos “12 mil años que equivalen a 0.00029% de tiempo geológico, la sociedad humana llevó muy lejos su capacidad de afectación y destrucción de los diferentes sistemas y holones planetarios” (Menéndez Gámiz, 2022, p. 38).

Corremos el riesgo de tener que superar nuevamente los límites del crecimiento, descritos en su versión más reciente por (Meadows et al., 2012), retomando las alertas mundiales sobre el destino que tendrá la humanidad de no hacerlo. El cambio climático e inseguridad alimentaria pasan a un primer plano, complementados por el informe de Francia elaborado por los premios nobel Joseph Stiglitz, Amartya Sen y el profesor italiano Fitoussi que desbaratan el desarrollismo, que mide mal la pobreza, mediante el Índice de Desarrollo Humano (IDH) o las Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), que no riman con el Producto Interno Bruto (PIB) como medida de crecimiento (Stiglitz et al., 2008).

Esto habilitó la ya mencionada teoría del “decrecimiento” propuesta por Georgescu-Roegen en los años 70, reflexionando sobre el error de focalizar el crecimiento indefinido del PIB en lo económico y lo político. Se sumaron los estudios de OPHI Oxford, a la cabeza de Sabina Alkire, que ayudaron a construir en Bután el Índice de la Felicidad Bruta (IFB), con indicadores multidimensionales de pobreza más congruentes con esa realidad y su cultura, en términos de desarrollo humano, que además resultaron muy prácticos para los estudios sobre COVID-19 (Alkire et al., 2014, p. 11).

Bajo estas premisas, los economistas deberán reinventarse, para encontrar soluciones prácticas y efectivas a la problemática descrita, aislando bagajes teóricos y mecanicistas, clásicos y ortodoxos, que equivocaron el rumbo de la ciencia. Llegó la hora en que los estudiosos se ocupen de la especie humana que vive en sociedad y armonía dentro de un ambiente finito, reincorporando la naturaleza, pero no como un simple factor productivo en funciones lineales, ni tratando de humanizar la naturaleza sin respetar sus leyes.

Estos fenómenos considerados cíclicos, porque ya ocurrieron hace 100 años atrás (gripe española - pandemia), después de la segunda Guerra Mundial mostraron que los economistas tradicionales descubrieron nuevas realidades que desde las naciones pobres no encajan. Implicó hacer un esfuerzo adicional para entender esas otredades como las reconocen los epistemólogos del sur (Santos, 2009) y (Acosta, 2008) así como el economista ambiental mexicano Enrique Leff (2010).

Lo anterior apoya la idea que la bioeconomía puede concebirse como una estrategia de uso intensivo en conocimiento biobasado para hacer posible el conjunto de tres sostenibilidades clave: ambiental, económica y social (triple cuenta) y así lograr los ansiados estilos de vida sustentables, como lo sugiere (Menéndez Gámiz, 2022).

Actualmente, emergieron muchos aportes científicos bioeconómicos, pero ninguno como el enfoque de BAA, que recupera fundamentos del biocentrismo, la ecología profunda, fusionando a la bioeconomía europea de Georgescu-Roegen de los años setenta, con las epistemologías del Sur en camino a encontrar un nuevo rumbo para las economías latinoamericanas, en una época en que la macroeconomía (teorías y políticas fiscales y monetarias) y la microeconomía (teorías de utilidad, producción y consumo individual) no hallan respuestas a la compleja realidad circundante.

La premisa fundamental fue mostrar a la bioeconomía como elemento articulador, que une lo filosófico con las políticas públicas aplicadas (inserción de la termodinámica) en una **relación materia – energía** (donde lo material se superpone a lo energético), permitiendo sentar las bases de convergencia de saberes ancestrales y modernos que Georgescu-Roegen omitió. Las epistemologías del sur “dan voz a los sin voz” (Santos, 2009) permitiendo ensamblar una tercera vía económica con soluciones circulares (no lineales) a problemas complejos y multidimensionales, con una visión distinta al desarrollismo occidental, **incorporando una relación espacio – tiempo**, donde **el espacio** fue deliberadamente omitido por los economistas.

Un segundo objetivo específico es analizar cómo las teorías bioeconómicas se integraron efectivamente con sus principios, apoyados en tres variables:

biocultura, bioterritorialidad y bioinformación que fungen como percutores que permiten superar las limitaciones del trabajo de Georgescu-Roegen, planteadas por críticos a su trabajo como (Mohammadian, 2008), (Flores Mondragón, 2015), (Carpintero, 2017) y (Manzanera Salavert, 2023).

Cabe señalar que la BAA emerge como alternativa para corregir y completar la bioeconomía europea propiciada por Georgescu-Roegen, entendiendo que la biocultura sintetiza el diálogo de saberes ancestrales y modernos, la bioterritorialidad sintetiza los diálogos interterritoriales bajo enfoques mutualista, cooperativo y comunitario y la bioinformación se constituye en la base para la formulación de estrategias y políticas públicas bioeconómicas, amparada en el uso de Tecnologías de Información y Comunicación (TIC's).

La relación entre estos bioindicadores y las limitaciones implica que para superarlas se deben considerar los siguientes aspectos: i) el modelo de Georgescu-Roegen es altamente complejo, lo que dificulta su aplicación práctica mucho más si se desconoce realidades donde las raigambres culturales tienen mucho peso, mostrando la importancia de la biocultura, ii) la falta de cuantificación dado que Georgescu-Roegen enfatizó en conceptos cualitativos sin proporcionar una base cuantitativa sólida para su modelo, vacío que puede ser llenado con la generación y uso de bioinformación para suplir dicha limitante, iii) falta de Orientación Práctica al dar mucha importancia a la sostenibilidad desconociendo cómo las sociedades abordan sus problemas económicos, ecológicos y sociales, sin considerar sus condicionantes geográficas y territoriales que pueden allanarse con la bioterritorialidad y iv) escasa atención a factores políticos, sociales y ambientales que también influyen en el desarrollo económico y sostenibilidad ambiental, para lo cual es conveniente considerar los principios filosóficos y constitucionales que invocan el respeto a la madre naturaleza, que también hacen a la biocultura de los países.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

El material utilizado son libros y artículos de autores expertos en Bioeconomía como Nicholas Georgescu-Roegen, considerado el padre de la bioeconomía,

complementados por otros autores e investigadores contemporáneos, adeptos y críticos a sus postulados, incluido el coautor del libro "La Economía de la Vida: La Bioeconomía Ande Amazónica" que participa en esta investigación. La metodología empleada es la exploratoria descriptiva, con técnicas bibliométricas de recopilación y pesquisa de literatura científica en revistas indexadas de calidad y confiabilidad" (Estrada-Zamora & De Jesús-Vizcaíno, 2020, pp. 233-234). La misma sirvió para obtener información relevante para cumplir con los objetivos trazados, siguiendo un enfoque analítico no experimental. Finalmente se empleó el método deductivo (que va de lo general a lo particular) infiriendo conclusiones a partir de premisas estudiadas en el tránsito de la Bioeconomía desde Georgescu-Roegen hasta la BAA.

### **3. ESTADO DEL ARTE DE LA BIOECONOMÍA Y LA BAA**

Georgescu-Roegen (1906-1994), comenzó escribiendo sobre economía y fue discípulo y amigo de Joseph A. Schumpeter, aunque posteriormente entró en discrepancias respecto a la teoría de crecimiento. Ello motivo a que comience a escribir sobre economía agrícola convirtiéndose luego en uno de los precursores más reconocidos de la Economía Ecológica. También fue considerado padre de la Bioeconomía, por sus múltiples y polémicas obras que comenzaron a destacarse desde 1971. El listado de sus aportes científicos más relevantes se tradujo en cuarenta y cinco obras que figuran listadas en el Anexo 1 desde 1935 hasta su fallecimiento el año 1994.

Cabe mencionar que muchos autores escribieron sobre Nicholas Georgescu-Roegen, referenciándolo o rescatando sus aportes como: Robert M. Solow (1974); Anthony M. Tang (1976); Jeremy Rifkin (1980); Herman Daly (1980); Robert Dorfman (1985); J.M. Naredo (1987); Allier J. Martínez y K. Schlüpman (1991); Michael Szenberg (1992); Ruth Matthias (1993); Turner R. Kerry (1993); Susan Mesner (1998); A. Maneschi & S. Zamagni (1997); Kozo Mayumi & J.M. Gowdy (1999); T. Beard, T & Thomas Randolph (1999); Kozo Mayumi (2001); Herman E. Daly (2007); Oscar Carpintero (2007); Jacques Grinevald (2008); Anthony Friend (2008); Robert Costanza (2009), Kozo Mayumi (2009); Serge Latouche (2009); Herman E. Daly (2010); C. Brunel, (2010); Mauro Bonaiuti, (2011); Louis Meuleman (2013); Antonio Valero Capilla (2018) y Vivien et al (2019).

Hay una coherencia lógica en la línea investigativa de Georgescu-Roegen, pese a ello tuvo muchos críticos y detractores en los últimos 28 años, quienes luego de su muerte, incluso propiciaron nuevas corrientes analíticas con enfoques marginalistas opuestos a su obra, introduciendo rentas, ganancias, utilidades, financiamiento y cadenas de valor, que en la actualidad también volvieron a ser parte de la bioeconomía.

Tomando en cuenta el análisis bibliométrico y pesquisa literaria sobre Bioeconomía destacamos lo siguiente:

La Bioeconomía implicó grandes cambios en los últimos años. Si bien surgió en un contexto europeo, destacó la urgencia de buscar soluciones a problemas como cambio climático, seguridad alimentaria, salud, reestructuración industrial, seguridad energética y otros. Un denominador común clave para estos grandes desafíos es que se los reconoce como problemas persistentes, complejos, abiertos y caracterizados por la incertidumbre en términos de cómo abordarse y resolverse, donde una solución parcial puede dar lugar a más problemas. Pese a la incertidumbre, la bioeconomía se introdujo como una parte importante de la solución a varios de esos desafíos. Pasar de productos y energía basados en fósiles a bio-basados es importante desde la perspectiva de cambio climático, pero también sugiere que una transición a una bioeconomía abordará aspectos relacionados con seguridad alimentaria, salud, reestructuración industrial y seguridad energética (Bugge et al., 2016).

Entre 2006 y 2016, se escribieron 453 artículos publicados en 222 revistas y de ellos 149 revistas tenían un solo artículo sobre bioeconomía (Bugge et al., 2016).

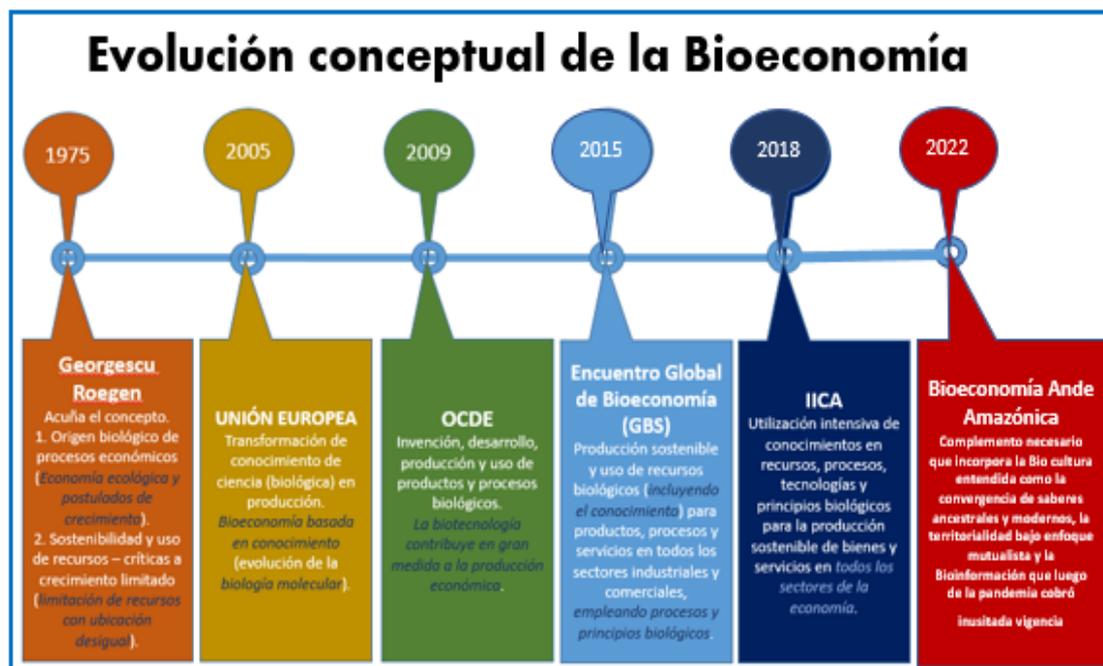
**Tabla 1.** Tópicos más desarrollados en publicaciones bioeconómicas. **Fuente:** *What's the bioeconomy? A review of the literature*, Bugge M, Hansen T, Klitkou A. 2006-2016.

Diario	Número de Documentos	Parte de Documentos	Número de Citas	parte de todos Citas
Biocombustibles Bioproductos y Biorefinación-Biofpr	27	6,0%	244	2,7%
Biomasa y Bioenergía	18	4,0%	251	2,7%
Revista de la Sociedad Estadounidense de Químicos del Petróleo	15	3,3%	202	2,2%
Revista de producción más limpia	12	2,6%	204	2,2%
Revista internacional de evaluación del ciclo de vida	10	2,2%	164	1,8%
Diario Internacional del Azúcar	10	2,2%	30	0,3%
Tecnología Bioambiental	9	2,0%	361	3,9%
Microbiología Aplicada y Biotecnología	8	1,8%	249	2,7%
Revista escandinava de investigación forestal	8	1,8%	14	0,2%
Suma	117	25,8%	1719	18,7%

También surgieron economistas que sintetizaron la obra de Georgescu-Roegen o procuraron completarla, con predominio de temas de energía y reciclaje de biomasa residual. Poco a poco la temática de cambio climático, inseguridad alimentaria y enfermedades pandémicas fue cobrando importancia, sin abandonar los temas energéticos. También resurgieron temas filosóficos, conceptuales o rescate de trabajos pioneros de Georgescu- Roegen, que en los últimos cinco años llamaron la atención:

- “*Nicholas Georgescu Roegen: de heterodoxo a disidente*” (Carpintero, 2017).
- “*Bioeconomía el futuro sostenible*” (Hodson de Jaramillo, 2018).
- “*Bioeconomia e suas aplicações*” (Mejias, 2019).
- “*Bioeconomía: una alternativa para la conservación*” (Lombeyda Miño, 2020).
- “*La bioeconomía como herramienta para el crecimiento económico sostenible*” (Lainez, 2021).
- “*Bioeconomy and Bioeconomics: Are they the same think?*” (Tilica, 2021).
- “*Bioeconomía, Estrategias e Impacto*” (Aguilar, 2021).
- “*The ‘bioeconomics vs bioeconomy debate: Beyond criticism, advancing research fronts*” (Allain et al., 2022).

A manera de síntesis, la línea de tiempo de la conceptualización de la Bioeconomía se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Línea de tiempo de la evolución conceptual de la Bioeconomía. **Fuente:** Quiroga & Zaiduni (2023)

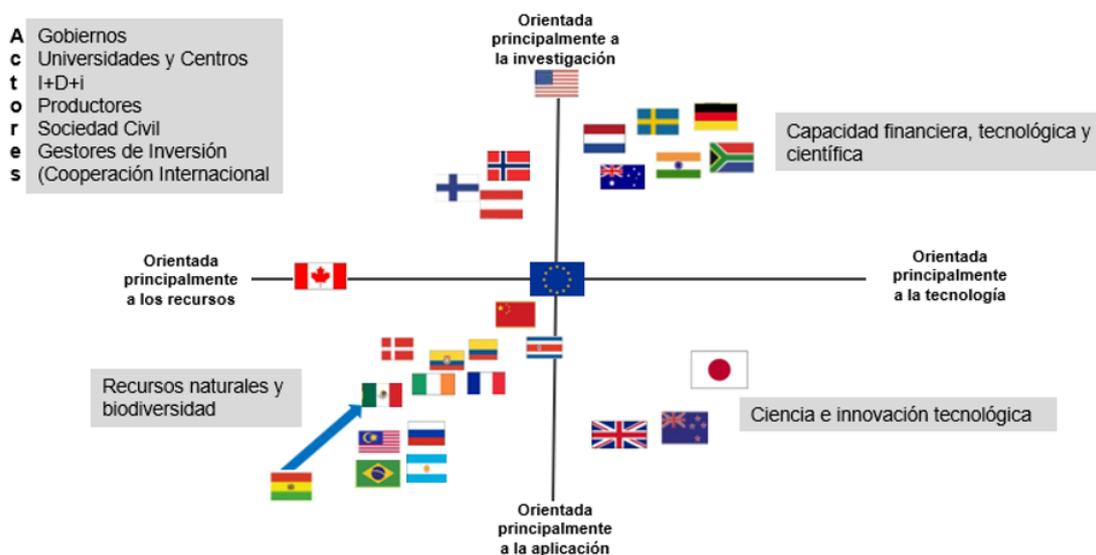
Las publicaciones de Georgescu-Roegen desde 1971 a 1994 marcaron distancia respecto a la ortodoxia y heterodoxia económicas, exacerbadas por el antropocentrismo y egoísmo humanos.

Donella y Dennis Meadows (1971) anunciaron serios riesgos que hoy vive la humanidad por la “polución” o crisis medio ambiental, cuyos efectos se conocen como efectos del cambio climático, con incidencia en la agricultura.

*“Both industrial and agricultural activity can cause pollution. (In the case of agriculture, the pollution consists largely of pesticide residues, fertilizers that cause eutrophication, and salt deposits from improper irrigation.) Pollution may affect the mortality of the population directly and also indirectly by decreasing agricultural output”* (Meadows et al., 1972, p. 98).

El Global Bioeconomy Council (2019) mapeó 49 países del mundo que adoptaron la bioeconomía a través de estrategias (Blanco et al., 2020, p. 13). Empero al revisar las estrategias, una por una, se elaboró un esquema de cuatro cuadrantes, que diferencia el desarrollo tecnológico, capital financiero, dotación de recursos naturales y biodiversidad entre países y continentes. El citado esquema (figura 2) demuestra que no hay una sola Bioeconomía y que no se pueden homogeneizarse ni uniformizarse las estrategias en serie. De esta

forma surge el preámbulo de la bioterritorialidad, que en el caso de Bolivia t dadas sus características territoriales con mega biodiversidad, sobre todo en la Amazonía, motivaron a proponer la BAA (Quiroga & Zaiduni, 2023, p. 93).



**Figura 2.** Cuatro cuadrantes de las distintas formas de hacer Bioeconomía. **Fuente:** Elaboración propia

El análisis coincide con las epistemologías del Sur que según Boaventura de Sousa Santos "la ecología de los saberes permite, no sólo superar la monocultura del saber científico, considerando también la idea de que los saberes no científicos son alternativos al saber científico". Esa coincidencia o convergencia implica que:

*"La ecología de los saberes trata de crear una nueva forma de relación entre el conocimiento científico y otras formas de conocimiento; busca la construcción de una sociedad más equilibrada en sus relaciones con la naturaleza"* (Santos, 2009, p. 116).

*Incorporación de perspectivas emanadas en los saberes indígenas... ha surgido el Buen Vivir, como una buena vida alternativa a la idea occidental del desarrollo como un todo... el Buen Vivir cuestiona radicalmente las bases conceptuales del desarrollismo actual, simultáneamente pone en entredicho la Modernidad de origen europeo* (Gudynas & Acosta, 2011, p. 71).

Analizadas las posturas mencionadas, cuya visión es opuesta al desarrollismo occidental que dañó la madre naturaleza, se reafirma la riqueza y sabiduría ancestral de los pueblos andinos y amazónicos para vincularlos epistemológica y ontológicamente a la Bioeconomía a través de la Biocultura (diálogo de saberes) complementada por la Bioterritorialidad que permiten subsanar las omisiones del modelo de Georgescu-Roegen.

Enrique Leff (2010) uno de los economistas ambientales más influyentes de la época, coincidió y reconoció públicamente que:

*"...el hombre en su proceso civilizatorio olvidó a la naturaleza. El homo sapiens, sapiens, sapiens erró el camino y desembocamos en una crisis ambiental, que no es pasajera. Georgescu-Roegen quien definió la relación entre proceso económico y segunda ley de la termodinámica (ley de la entropía) sostuvo que la economía se alimenta de naturaleza (materia y energía) acorde al progreso económico y tecnológico, donde la naturaleza ingresa en la maquinaria mundial de la economía, para transformarse según la segunda ley de la entropía". (Leff, 2010, p.1).*

Con los argumentos citados, se explicaron dos variables incorporadas al modelo bioeconómico de Georgescu-Roegen (biocultura y bioterritorialidad), reconociendo que pueden ser muy útiles para ayudar a encontrar soluciones al cambio climático e inseguridad alimentaria en ALC que tienen diferencias marcadas respecto a los países nórdicos.

Alicia Barcena (2021) postuló nueve tesis vinculadas con la Bioeconomía, entendiendo "la gravedad de la crisis climática en la región y la urgencia de enfrentarla, exige una priorización del financiamiento de medidas de adaptación". (Bárcena, 2021, p. 2).

En consecuencia, la bioinformación desempeña un papel crucial al agregarse como variable clave al modelo bioeconómico de Georgescu-Roegen, centrado en el uso sostenible de recursos biológicos. En este contexto, la bioinformática facilita el análisis y gestión información compuesta de datos biológicos a gran escala, permitiendo avances en agricultura, medicina, energía y más. La integración de datos genómicos, proteómicos y ambientales

impulsa la investigación y desarrollo de soluciones innovadoras, contribuyendo a la eficiencia y sostenibilidad en sectores clave de la bioeconomía.

Finalmente, vale la pena considerar la bioinformación que debe converger con los saberes ancestrales, constituyéndose en un área fascinante donde la ciencia moderna y las tradiciones antiguas pueden entrelazarse. Esto implica integrar datos biológicos avanzados con conocimientos tradicionales sobre plantas medicinales, curación y ecología.

Esta convergencia puede conducir a descubrimientos significativos en medicina, conservación, sostenibilidad y medio ambiente motivo por cual, la BAA incluye esta variable faltante al modelo de Georgescu-Roegen, entendiendo que este autor intuyó las bondades que ofrece el uso de Tecnologías de Información y Comunicación (TIC's) en la Bioeconomía, pero cuyo desarrollo en sus épocas era muy incipiente.

Como ejemplo señalamos el uso de nano computadores que funcionan como minicentrales meteorológicas, cuya información de temperatura, humedad, apareamiento de insectos plaga y otras variables, permiten a los agricultores de cualquier tamaño contar con dicha información en sus celulares y en tiempo real. Se aclara que procesar grandes volúmenes de datos es factible si y solo si, se emplean TIC's como big data, cloud computing, e internet de las cosas para su procesamiento que al analizarla permite actuar preventivamente ante fenómenos climáticos que provoquen estrés hídrico o inundaciones extremas fruto de fenómenos niño y niña anómalos.

Se cuenta con evidencia empírica al haber introducido nano computadoras en parcelas demostrativas de la Universidad Mayor de San Andrés, la Universidad Pública de El Alto y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura en Bolivia (IICA Bolivia) cuya información es procesada en Francia (IRD) a la cabeza de Bruno Condori Alí, líder del equipo Bolivia quien coordina con otros científicos franceses citados en (Rebaudo et al., 2023, p. 1029).

Hasta aquí, lo descrito refrenda la utilidad de las tres variables mencionadas que han consolidado una bioeconomía alternativa, adaptada a la realidad de los territorios andinos y amazónicos bolivianos, considerando sus raigambres

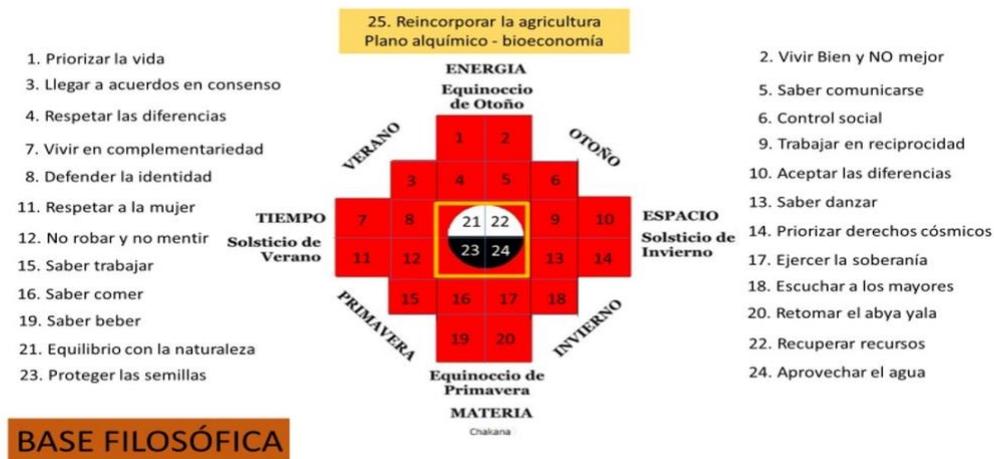
culturales, sus peculiaridades territoriales y el empleo de TIC's para generar bioinformación operativa.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN: LA BIOECONOMÍA ANDE AMAZÓNICA

La BAA introdujo la **Biocultura** que según Antonio Ortega Santos - Diccionario del Agro Iberoamericano, es el "conocimiento, innovaciones y prácticas de los pueblos indígenas, que abarcan desde los recursos naturales en todas sus dimensiones, hasta los paisajes que crean" (Ortega Santos, 2022, p. 174).

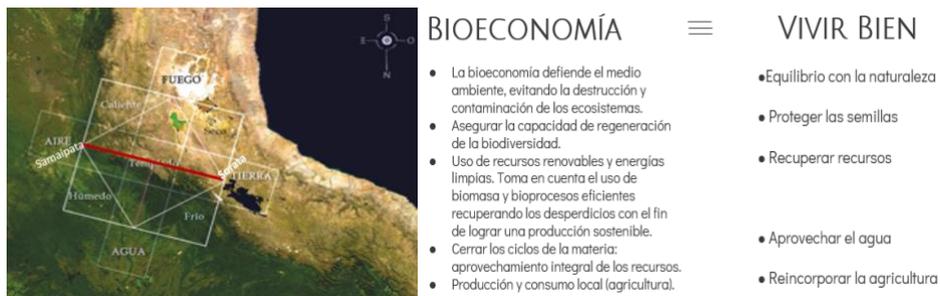
*Lo biocultural reconfigura nuestros saberes ancestrales como caja de herramientas que ayuda a afrontar la crisis civilizatoria que vivimos. Enfrentamos tres retos éticos: i) apostar por la recuperación de nuestra conciencia de especie desde el repensar, ii) la relación Tierra-Pachamama y iii) encontrar en el pasado lecciones de sustentabilidad en el territorio. Implica diseñar nuevos ecosistemas desde nuestras Bio regiones. Este reto es factible únicamente desde el (neo) aprendizaje de los saberes del sur global donde habitan los agricultores campesinos (Ortega Santos, 2022, p. 67).*

Hay números estudios en México, Norte América y otros países con civilizaciones antiguas, lo que respalda La Economía de la Vida: la Bioeconomía ande amazónica. Incorpora arquetipos del Cronista indígena Guamán Poma el año 1526. "La Chakana considera la geometría sagrada y el escalonamiento de pisos agroecológicos esculpidos en Tiahuanacu y en muchas otras latitudes hasta donde llegaron las culturas Tiwanaku – Inca" (Quiroga & Zaiduni, 2023, p. 72).



**Figura 3.** Modelo Chakana, ordenador de los principios del Vivir Bien. **Fuente:** Elaboración propia

Por la amplitud y complejidad de este bagaje, sintetizamos el enfoque presentando en la Chakana que relaciona i) materia-energía y ii) espacio-tiempo, como también el ordenamiento de los 25 principios constitucionales del Vivir Bien. Al ser un calendario solar se correlacionan los 4 puntos cardinales (cuatro elementos de la naturaleza, tierra, fuego, aire y agua) con la parte central cuyos cinco principios son equivalentes a los cinco principios de la Bioeconomía. Con esta herramienta se materializó la métrica del Vivir Bien por (Quiroga & Zaiduni, 2021, p. 10) y (Quiroga & Gonzáles-Yaksic, 2013, p. 6).



**Figura 3.** Convergencia con los 4 elementos de la naturaleza y 5 principios del vivir Bien. **Fuente:** Elaboración propia

### La bioterritorialidad

Permite analizar y ver qué papel juega el territorio en procesos del desarrollo local. Nos remitimos a los italianos (Dematteis & Governa, 2005) quienes “convirtieron lo territorial en un objetivo mayor al buscar esclarecer las conexiones entre territorialidad y sostenibilidad, para definir principios y modelos

de sostenibilidad territorial y permitir la autorreproducción sostenible de los sistemas territoriales". Mereció particular atención la relación sociedad / ambiente, así como la dimensión comunitaria de las relaciones entre actores con su territorio citando a (Bagnasco. 1999). Así surge y cobra gran importancia el desarrollo local y subyace el riesgo de una visión localista del desarrollo local, dado que el análisis es multidimensional y complejo, involucrando aspectos económicos, sociales, culturales, políticos y ambientales.

*“Ejecutando procesos de desarrollo local se obtiene específico valor añadido territorial que garantice las intervenciones y transformaciones territoriales para la sostenibilidad, eficacia y legitimidad. Esta deriva de la acción colectiva y territorializada de agentes locales, que usan el territorio y lo reproducen, contribuyendo así a la construcción de una nueva territorialidad” (Dematteis & Governa, 2005, p. 42).*

Para introducirnos al concepto de bioterritorialidad se toma en cuenta el libro *Repensar las espiritualidades desde miradas contrahegemónicas del Sur*, donde resalta:

Las espiritualidades indígenas nos alertan sobre las causas y efectos de estos problemas y nos desafían a iniciar un proceso de reconexión con la naturaleza y a comprometernos en los procesos políticos de nuestros pueblos hacia la autodeterminación. Los pueblos indígenas sostienen cosmovisiones cosmos-céntricas y epistemologías diferentes (Piedrahita Echandía et al., 2021, p. 140).

La bioterritorialidad se define como “noción de territorialidad aplicada a las especies animales, y por tanto a la especie humana, se encuentra indisolublemente unida a la noción de hábitat”. (Aceves González, 1997, p. 279).

Para incluir esta dimensión como variable del modelo propuesto, recuperamos el modelo de Lotka y Volterra (1930) que prevé que el mutualismo, antecesor del comunitarismo, puede ser el medio bioeconómico para la producción en los territorios, de manera más respetuosa con el eco hábitat (naturaleza y biodiversidad), incorporando la matemática propuesta por los hermanos

Jaramillo en Colombia para tal efecto que también involucraría implícitamente aspectos de financiamiento (Jaramillo Mejía et al., 2013, p. 103).

### **La bioinformación**

Se nutre con información generada por la bioinformática. Es un concepto más utilizado en ciencias médicas que involucra: biotecnología, producción de biomasa renovable y bioprocesos eficientes, producción de bienes provenientes de biología, microbiología, bioquímica y química, producción de bienes y/o servicios con bioinformática. También desarrolla bienes y servicios provenientes de la ingeniería biomédica, dispositivos médicos y reactivos de diagnóstico, basados en biología molecular, edición génica, microfluídica, ingeniería genética, microbiología, bioquímica, biotecnología y producción de bienes y servicios de la neuro tecnología como simulaciones de modelos neurales, computadores biológicos, equipos para interconectar el cerebro con sistemas electrónicos y aparatos para medir y analizar la actividad.

La Bioinformación se liga a la historia cultural porque recopila, guarda y recupera el saber cognitivo de mente - cuerpo - cultura. Ello contribuye a que la cognición y la biología, sean inseparables y co - emerjan en su historia cultural.

Se consideran las creencias morales, científicas y transcendentales, entendiendo que son reglas externas que controlan la conducta del grupo. La Cultura moldea la realidad personal con uniformidad, tomando en cuenta la idiosincrasia para asimilar las creencias que interactúan con distintos niveles socioeconómicos que llamamos biocultura, con capacidad de determinar cómo la biología puede traducirse en cultura médica o medicina tradicional.

Debemos recordar que el único modelo multidisciplinario y complejo, que al mismo tiempo estudia la Vida o sus ciencias es la Bioeconomía, mismo que es un modelo matricial con vectores autorregresivos, enriquecidos por las tres dimensiones señaladas que también son matriciales y disponen de la bioinformación para su consistencia.

La secuenciación masiva transformó la microbiología, reduciendo los costes y tiempos de análisis con la bioinformática, que va generando nuevos programas de análisis. Tanto las bacterias patógenas como las no patógenas pueden

representar una amenaza, pero también una oportunidad para la salud. (Hernández et al., 2020, pp. 159-160).

En consecuencia, la bioinformación se convierte en una variable de stock (capital o generador del mismo) y de flujo (genera la información útil y necesaria para alimentar los bioprocesos en medicina, agricultura y otros rubros, tomando en cuenta la microbiología genética). Puede ser baja entropía si existe un control sobre la misma, empero con los últimos avances de la inteligencia artificial y otros sistemas de autocontrol, se podría prescindir del ser humano, lo que podría elevar la entropía, que Georgescu-Roegen intuyó, pero no llegó a conocer.

## 5. MODELAJE MATEMÁTICO

Modelo Base de Georgescu-Roegen (1971-1994), resumiendo la recopilación sistematizada de (Hernández Cervantes, 2008, pp. 40-43) quien configuró las ecuaciones 1 y 2 y las explicaciones de las variables.

El modelo bioeconómico propuesto por Georgescu-Roegen, 1971, muestra que la producción ( $Q$ ) es más realista que la tradicional Cobb Douglas:  $Q = A \cdot K^\alpha L^{1-\alpha}$ .

$$\begin{array}{c}
 \text{T} \quad \quad \quad \text{T} \quad \quad \quad \text{T} \\
 \text{(1)} \quad Q_0(t) = F [ I_1(t); W_0(t) ] \\
 \text{0} \quad \quad \quad \text{0} \quad \quad \quad \text{0}
 \end{array}$$

La función de producción se explica por **(I)** insumos y **(W)** desperdicios. Va de 0 a T como modelo de *flujo de fondos de servicios*. Circularmente recupera las funciones de cada uno de los factores, según sus cualidades físicas. Para que el modelo funcione en estado estacionario, propone mantener intacta la eficiencia de los factores de producción duraderos.

Luego en siguiente ecuación usa dos categorías: **Stocks** los factores (tierra, capital y trabajo) y **Flujos** son los servicios que entran y salen del proceso, con eficiencia intacta.

$$(2) \quad \begin{matrix} T & T & T & T & T & T & T & T & T \\ Q(t) = F [R(t), I(t), M(t), Q(t), W(t): Tr(t), K(t), L(t)] \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix}$$

**Stocks Si (i):** Tierra ricardiana (Tr), capital físico (K) y mano de obra (L). A diferencia de una función (Cobb Douglas) se incluye la Tierra ricardiana. Como flujos (**R**) son los recursos naturales, (**I**) son los insumos corrientes como materiales que provienen de otro proceso productivo -ejemplo barniz para fabricar una mesa de madera, (**M**) insumos necesarios para mantener intacto el capital; ej. lubricantes, pinturas, partes, etc., (**Q**) producto autogenerado con Recursos naturales (lluvia, energía solar, suelo, etc.), (W) flujo del producto desperdiciado, aunque no deseado, que inevitablemente sufre un proceso de transformación para su reincorporación en la función de producción.

Los  $F_i(t)$ , implican flujos de mantenimiento para conservar intacta la eficiencia de los activos o fondos de servicio. Los Stocks de capital mantienen los flujos para dar lugar al producto. Se complementan ya que ni flujos ni stocks podrían generar un producto por sí mismos. La maquinaria y el trabajo humano requieren insumos corrientes y recursos naturales para crear un bien; los primeros se transforman en producto por acción del capital (máquinas y herramientas), trabajo humano o tierra.

La fórmula (2) es una función de funciones, delimitada temporalmente en el espacio 0 a T, donde ocurren procesos en el espacio de 0 a T al mismo tiempo en un rango de 0 a t y donde siempre  $t < T$ .

Hasta aquí llegó Georgescu-Roegen en 1994, adelantándose al informe Meadows, empero, luego de poner el modelo en escena recibió críticas por omisiones que a juicio de los autores de la BAA allanaron las omisiones y observaciones.

La **Bioeconomía Ande Amazónica**, completa el modelo de Georgescu-Roegen en la ecuación (3), instrumentando las variables en rojo (Quiroga & Zaiduni, 2023, p. 115).



La BAA puede reducir la huella ambiental de los sistemas alimentarios promoviendo la sustitución de combustibles fósiles e insumos de las industrias alimenticias; aprovechando los residuos y desperdicios (contrarresta shocks externos y desórdenes macroeconómicos).

La BAA tiene impactos positivos en productividad total de factores, se pueden estabilizar los precios agrícolas y se puede evitar, contrabando, hambruna y otros.

La BAA ayudará a ALC a posicionarse en industrias de alimentos, salud y nutrición, además aprovechar sosteniblemente su biodiversidad, mejores ingresos y condiciones de vida de actores (sistemas agroalimentarios vs. Efectos de conflictos bélicos).

La BAA puede erigirse como nuevo paradigma productivo latinoamericano, pudiendo incluso convertirse en un modelo económico si se aplica en Bolivia y México donde se estudió el paradigma en el 2do Congreso de Bioeconomía Circular realizado en México (RMBC, 2022), o en Honduras y otras latitudes, donde las poblaciones indígenas son numerosas, manteniéndose nichos de pobreza y desigualdades sociales, por lo que compete rescatar sus acervos culturales.

Se recomienda trabajar junto a todos los actores para conceptualizar y construir las políticas, estrategias e inversiones requeridas aprovechando potencialidades que la bioeconomía ofrece (mega biodiversidad) – Gobernanza bioeconómica y con ello perfilar proyectos con su propio Ciclo de Proyecto.

Es recomendable la fusión de la convergencia tecnológica (eficiencia y agregación de valor) de los sistemas alimentarios" con nueva industrialización integral de la biomasa que debe volcarse a los territorios rurales, atrayendo la juventud migrante e institucionalizando buenas prácticas. Modelar el Vivir Bien con la bioeconomía (incluye métrica del vivir bien) que implicará pasar del Antropocentrismo al Agro Biocentrismo como punta de lanza.

## REFERENCIAS

- ACEVES GONZÁLEZ, F. DE J. (1997). La territorialidad Punto nodal en la intersección espacio urbano - procesos de comunicación - movimiento social. *Comunicación y Sociedad - Universidad de Guadalajara*, 30, 275–301.
- ACOSTA, A. (2008). El Buen Vivir, una oportunidad por construir. *Ecuador Debate*, 75, 33–48.
- AGUILAR, A. (2021). Bioeconomía, estrategias e impacto. *C3-BIOECONOMY: Circular and Sustainable Bioeconomy*, 1. <https://doi.org/10.21071/c3b.vi1.13147>
- ALKIRE, S., FOSTER, J. E., SETH, S., SANTOS, M. E., ROCHE, J. M., & BALLON, P. (2014). Multidimensional Poverty Measurement and Analysis: Chapter 1- Introduction. *OPHI Working Paper*, 82, 1–33. <http://www.ophi.org.uk>
- ALLAIN, S., RUAULT, J. F., MORAINÉ, M., & MADELRIEUX, S. (2022). The 'bioeconomics vs bioeconomy' debate: Beyond criticism, advancing research fronts. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2021.11.004>
- BÁRCENA, A. (2021, August 17). Alicia Bárcena reafirma gravedad de la crisis climática en la región e insta a la comunidad internacional a priorizar el financiamiento de medidas de adaptación. *Comunicado de Prensa - CEPAL*. <https://www.cepal.org/es/comunicados/alicia-barcena-reafirma-gravedad-la-crisis-climatica-la-region-insta-la-comunidad>
- BLANCO, M., CHAVARRÍA, H., NARDONE, P., & GONZÁLEZ, M. (2020). *BIOECONOMÍA: Potencial y retos para su aprovechamiento en América Latina y el Caribe - Manual de Capacitación (Primera)*. IICA. <http://www.iica.int>.
- BRACKETT, S. (1970). Bioeconomía - La Ciencia de la Supervivencia: Una filosofía propuesta para el Programa en Estudios Ambientales. In W. A. Reiners & F. Smallwood (Eds.), *Programa de Estudios Ambientales Hanover*, New

Hampshire - Dartmouth College (Primera Edición, pp. 14–25). Dartmouth Alumni Magazine.

BUGGE, M. M., HANSEN, T., & KLITKOU, A. (2016). What is the bioeconomy? A review of the literature. In *Sustainability* (Vol. 8, Issue 7, p. 22). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su8070691>

CARPINTERO, O. (2017). Nicholas Georgescu-Roegen: De heterodoxo a disidente. *Revista de Economía Crítica*, 23, 140–151.

DEMATTEIS, G., & GOVERNA, F. (2005). Territorio y territorialidad en el desarrollo local. La contribución del modelo Slot. *Boletín de La A.G.E.*, 39, 31–53.

ESTRADA-ZAMORA, C., & DE JESÚS-VIZCAÍNO, A. (2020). Tendencias en torno a la competitividad de las ciudades inteligentes: aproximación desde un análisis bibliométrico. In Sánchez-Gutiérrez. José & P. I. Mayorga-Salamanca (Eds.), *Ecosistema de Datos y la Competitividad* (1ra. Ed., pp. 229–244). Red Internacional de Investigadores en Competitividad Universidad de Guadalajara.

FLORES MONDRAGÓN, G. J. (2015). *Esbozo para una crítica de la Economía Ecológica la refundación de la Bioeconomía de Nicholas Georgescu-Roegen (Un ejercicio desde la crítica de la Economía Política)* [Tesis Doctoral]. Universidad Nacional Autónoma de México.

GEORGESCU-ROEGEN, N. (1971). *La Ley de la Entropía y el proceso económico*. Fundación Argentaria - Visor Distribuidores.

GEORGESCU-ROEGEN, N. (1976). *Energy and Economic Myths: Institutional and Analytical Economic Essays* (First). Pergamon Press Inc.

GEORGESCU-ROEGEN, N. (1983). La Teoría Energética del Valor: Un Sofisma Económico Particular. *El Trimestre Económico / Fondo de Cultura Económica*, 50(198), 829–860. <https://www.jstor.org/stable/i23395067>

GUDYNAS, E., & ACOSTA, A. (2011). La renovación de la crítica al desarrollo y el buen vivir como alternativa. In *Revista Internacional de Filosofía*

*Iberoamericana y Teoría Social* (Vol. 53).  
<http://www.cartalatinoamericana.com>

HERNÁNDEZ CERVANTES, T. (2008). Breve exposición de las contribuciones de Georgescu Roegen a la economía ecológica y un comentario crítico. *Nueva Época*, 56, 35–52.

HERNÁNDEZ, M., QUIJADA, N. M., RODRÍGUEZ-LÁZARO, D., & EIROS, J. M. (2020). Aplicación de la secuenciación masiva y la bioinformática al diagnóstico microbiológico clínico. *Revista Argentina de Microbiología*, 52(2), 150–161. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2019.06.003>

HODSON DE JARAMILLO, E. (2018). Bioeconomía: el futuro sostenible. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 42(164). <https://doi.org/10.18257/raccefyn.650>

JARAMILLO MEJÍA, V. D., JARAMILLO MEJÍA, A., DÍAZ ARCOS, E., & MARSHALL, A. (2013). Aproximación matemática a los modelos bioeconómicos: análisis de caso para el modelo mutualista de Lotka - Volterra. *Revista de La Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas*, 14(2), 98–119.

LAINEZ, M. (2021). La bioeconomía como herramienta para el crecimiento económico sostenible. *C3-BIOECONOMY: Circular and Sustainable Bioeconomy*, 1. <https://doi.org/10.21071/c3b.vi1.13170>

LOMBEYDA MIÑO, B. (2020). Bioeconomía: una alternativa para la conservación. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 27. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.27.2020.3984>

MANZANERA SALAVERT, M. (2023). Una crítica constructiva del pensamiento ecologista de Georgescu-Roegen desde el marxismo. *Mundo Obrero*. <https://mundoobrero.es/2023/03/06/una-critica-constructiva-del-pensamiento-ecologista-de-georgescu-roegen-desde-el-marxismo/>

MEADOWS, D., MEADOWS, D., & RANDERS, J. (2012). *Les limites à la croissance (dans un monde fini)*.

- MEADOWS, D., MEADOWS, D., RANDERS, J., & BEHRENS, W. (1972). *Los Límites Del Crecimiento: Informe al Club de Roma sobre el Predicamento de la Humanidad* (M. S. Loaeza De Graude, Ed.; 1ra ed.). Fondo de Cultura Económica.
- MEJIAS, R. G. (2019). *Bioeconomia e suas aplicações*.
- MENÉNDEZ GÁMIZ, C. R. (2022). Recorrido por casos y métodos en los senderos de la bioeconomía para México. In S. G. Ceballos Pérez & A. Azamar Alonso (Eds.), *Experiencias y Expectativas de la Bioeconomía* (1ra. Ed., pp. 36–53). Universidad Autónoma Metropolitana. <http://www.casadelibrosabiertos.uam.mx/index.php/libroelectronico>
- MOHAMMADIAN, M. (2008). La Bioeconomía: Economía del Tercer Camino. In *Ecosistemas* (Vol. 18, Issue 2). Asociación Española de Ecología Terrestre. <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?id=588>
- ORTEGA SANTOS, A. (2022). Bioculturalidad. Saberes Campesinos. In A. Salomón & J. Muzlera (Eds.), *Diccionario del Agro Iberoamericano* (pp. 173–178). TeseoPress Design ([www.teseopress.com](http://www.teseopress.com)).
- PIEDRAHITA ECHANDÍA, C. L., PEREA ACEVEDO, A. J., & USECHE ALDANA, O. J. (2021). *Territorialidades, espiritualidades y cuerpos: Perspectivas críticas en Estudios Sociales* (1ra ed.). Universidad Distrital Francisco José de Caldas - CLACSO: Editorial Magisterio.
- QUIROGA, J., & Z Aiduni, M. (2021). *De la Filosofía a la Política Pública: Índice multidimensional para el vivir bien y la bioeconomía* (1ra.). Editorial Académica Española.
- QUIROGA CANAVIRI, J., & Z Aiduni SALAZAR, M. (2023). *La Economía de la Vida: La Bioeconomía Ande Amazónica* (D. Valdivia Coria, Ed.; 2da. Edición). Editorial Académica Española.
- QUIROGA, J., & GONZÁLES-YAKSIC, P. (2013). *JACH' AQh' anaX Conóciate a ti mismo Define tu destino* (Primera). Ali-mente Editores.

- REBAUDO, F., SOULARD, T., CONDORI, B., QUISPE-TARQUI, R., CALATAYUD, P. A., CHAVEZ VINO, S., TONNANG, H. E. Z., & BESSIÈRE, L. (2023). A low-cost IoT network to monitor microclimate variables in ecosystems. *Methods in Ecology and Evolution*, 14(4), 1025–1034. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.14062>
- RMBC. (2022). *Síntesis de resultados 2do Seminario Internacional sobre Bioeconomía*. <https://doi.org/10.47386/BioeconSintSem22>
- SANTOS, B. DE S. (2009). *EPISTEMOLOGIA-DEL-SUR*. (Primera Edición). Siglo XXI CLACSO.
- STIGLITZ, J. E., SEN, A., & FITOUSSI, J. P. (2008). *Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress*. [www.stiglitz-sen-fitoussi.fr](http://www.stiglitz-sen-fitoussi.fr)
- TILICA, E. (2021). BIOECONOMY AND BIOECONOMICS: ARE THEY THE SAME THING? *International Journal of Innovative Technologies in Economy*, 1(33). [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_ijite/30032021/7470](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ijite/30032021/7470)

## Anexo 1. Obras de Nicholas Georgescu-Roegen (1935-1993)

- "Coeficientes fijos de producción y teoría de la productividad marginal" (1935).
- "La teoría pura del comportamiento del consumidor" (1936).
- "La teoría de la elección y la constancia de las leyes económicas" (1950).
- "El sistema de Leontief a la luz de los resultados recientes" (1950).
- "Algunas propiedades de un modelo de Leontief generalizado" (1951).
- "La función de producción lineal agregada y sus aplicaciones al modelo económico de von Neumann" (1951).
- "Fenómenos de relajación en modelos dinámicos lineales" (1951).
- "Un análisis esquemático de la complementariedad" (1952).
- "Elección y preferencia revelada" (1954).
- "Choice, expectations and measurability" (1954).
- "Limitacionalidad, limitatividad y equilibrio económico" (1955).
- "Elección, expectativas y mensurabilidad" (1956).
- "Umbral en la Elección y la Teoría de la Demanda" (1958).
- "La naturaleza de la expectativa y la incertidumbre" (1958).
- "Pruebas matemáticas del quiebre del capitalismo" (1960).
- "Teoría económica y economía agraria" (1960).
- "Measure, quality and optimal scale" (1964).
- "Economía analítica: cuestiones y problemas" (1966).
- "Revisiting Marshall's constancy of marginal utility of money" (1968)
- "Utility" (1968).
- "La economía de la producción" (1970).
- "La Ley de Entropía y el Proceso Económico" (1971).
- "Dynamic Models and Economic Growth" (1974).
- "Energy and Economic Myths" (1975).
- "Mitos energéticos y económicos: ensayos económicos institucionales y analíticos" (1976).
- "¿Qué puede enseñar a los economistas la termodinámica y la biología?" (1977).
- "El estado estacionario y la salvación ecológica" (1977).
- "The Measure of information: a critique" (1977).
- "From Bioeconomics to Degrowth" (1977).
- "Matter matters, too" (1977).
- "Inequality, limits and growth from a bioeconomic viewpoint" (1977).
- "Technology assessment: the case of direct use of solar energy" (1978).
- "The second law, the fourth law, recycling and limits to growth". (1979)
- "Análisis Energético y Valoración Económica" (1979).
- "Demain la décroissance" (1979).
- "La Décroissance: Entropie – Écologie – Économie" (1979).
- "Energy, Matter, and Economic valuation: where do we stand?" (1981).
- "The energetic theory of economic value: a topical economic fallacy" (1982).

- "La Teoría Energética del Valor Económico: Un Sofisma Económico Particular" (1982).
- "Man and Production" (1986).
- "Un emigrante de un país en desarrollo" (1988).
- "Production process and dynamic economics (1990)
- "Thermodynamics, economics and information" (1990).
- "Nicholas Georgescu-Roegen sobre sí mismo" (1992).
- "Thermodynamics and We, the Humans" (1993).





## **Pérdida y desperdicio de alimentos: Uno de los grandes retos de la economía circular**

José Luis del Río<sup>1</sup>, Esther Ortiz<sup>2</sup>, Irene Domínguez<sup>3</sup>, Víctor Ortiz-Somovilla<sup>4</sup> y Emma Cantos-Villar<sup>5</sup>

---

Autor de Correspondencia: jose.rio@juntadeandalucia.es

---

### **Resumen:**

En un planeta dónde más de 800 millones de personas pasan hambre, alrededor de un tercio de los alimentos producidos se pierden o desperdician a lo largo de la cadena agroalimentaria, produciendo un gasto innecesario de agua y la emisión de gases de efecto invernadero que revierte en una situación de cambio climático irreversible.

Este estudio presenta las principales dificultades que los agentes sociales del sistema agroalimentario encuentran al abordar la reducción del desperdicio alimentario: un marco conceptual difuso, nula estandarización en los métodos de cuantificación, escasa atención en la prevención y un encaje normativo aún por precisar en casos como España. Entre los proyectos internacionales de investigación implementados actualmente destacaremos el proyecto ZeroW, que desarrolla soluciones innovadoras contra la pérdida y desperdicio de alimentos para implementarlas transversalmente a lo largo de toda la cadena agroalimentaria.

Mediante este artículo se pretende clarificar la situación de partida de España y Andalucía para reducir la pérdida y desperdicio de alimentos en el contexto europeo y evidenciar la necesidad de avanzar hacia un sistema agroalimentario circular y más sostenible que promueva, desde la innovación, la producción y consumo responsables sin generar.

**Palabras clave:** Desperdicio alimentario, proyecto ZeroW, economía circular, Andalucía.

## **Food loss and waste: One of the great challenges of the circular economy**

José Luis del Río<sup>1</sup>, Esther Ortiz<sup>2</sup>, Irene Domínguez<sup>3</sup>, Víctor Ortiz-Somovilla<sup>4</sup> and Emma Cantos-Villar<sup>5</sup>

### **Abstract:**

On a planet where more than 800 million people suffer from hunger, around one third of the food produced is lost or wasted along the agri-food chain, causing unnecessary waste of water and the emission of greenhouse gases that leads to irreversible climate change.

This study presents the main difficulties that the social agents of the agri-food system face in addressing the reduction of food waste: a diffuse conceptual framework, no standardization of quantification methods, little attention to prevention and a regulatory framework that has yet to be clarified in cases such as Spain. Among the international research projects currently being implemented, the ZeroW project stands out, which develops innovative solutions against food loss and waste to be implemented transversally throughout the entire agri-food chain.

---

<sup>1</sup> IFAPA SSCC

<sup>2</sup> TRAGSATEC

<sup>3</sup> IFAPA La Mojonera

<sup>4</sup> IFAPA Alameda del Obispo

<sup>5</sup> IFAPA Rancho de la Merced

This article aims to clarify the initial situation in Spain and Andalusia to reduce food loss and waste in the European context and to highlight the need to move towards a circular and more sustainable agri-food system that promotes, through innovation, responsible production and consumption without generating waste.

**Key Words:** Food waste, ZeroW project, circular economy, Andalusia.

## 1. PÉRDIDA Y DESPERDICIO DE ALIMENTOS: CONCEPTOS BÁSICOS E IMPACTOS ASOCIADOS

La literatura especializada sobre Pérdida y Desperdicio de Alimentos (PDA) refiere frecuentemente los trabajos de la Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas (FAO) elaborados a partir de 2011 como el primer esfuerzo a nivel institucional en estimar la magnitud de la PDA a escala global. Sin embargo, más de 60 años antes Kling (1943) pone el foco, de forma pionera, sobre el desperdicio de alimentos en un contexto de guerra (II Guerra Mundial), aportando, entre otras, dos cuestiones consideradas especialmente disruptivas en esta fecha: (1) plantea una primera definición de desperdicio de alimentos, como aquella fracción de alimentos que se deterioran, destruyen o pierden su valor nutricional óptimo a lo largo de la cadena agroalimentaria y (2) recalca la necesidad de recabar datos de desperdicio en todas las fases de la cadena de valor, situando la mayor tasa de desperdicio en las fases de cosecha y consumo, situación que parece no haber evolucionado ocho décadas después. FAO (2011) introduce posteriormente el concepto de pérdida junto al de desperdicio de alimentos, definiendo así la PDA como "*cualquier alimento perdido por deterioro o desperdicio*". En 2019, la FAO amplió esta definición de la PDA a la "*disminución de la cantidad o la calidad de los alimentos a lo largo de la cadena alimentaria*". Otros autores han esclarecido y concretado este concepto tan amplio de PDA. Por ejemplo, Barco et al., (2019) definieron la PDA como "*la cantidad combinada de pérdida y desperdicio de alimentos*", mientras que Teuber y Dejgård-Jensen (2020) ahondaron aún más en este concepto y lo definieron como "*la disminución, en cualquier etapa de la cadena alimentaria, desde la cosecha hasta el consumo en masa, de alimentos que originalmente estaban destinados al consumo humano, incluidas las partes no comestibles de los productos alimenticios, independientemente de la causa*".

La primera estimación mundial de la PDA fue realizada igualmente por la FAO (2011). En este informe se concluyó que cerca de 1.300 millones de toneladas de alimentos al año, alrededor de un tercio de los alimentos producidos en todo el mundo para el consumo humano, se perdían o desperdiciaban en algún punto de la cadena agroalimentaria entre las fases de precosecha y consumo en los hogares.

La magnitud mundial de la PDA estimada por la FAO en 2011 se ha tenido en cuenta en otras publicaciones oficiales lanzadas por la FAO en 2013, 2014 y 2015, así como en estudios de investigación de alto impacto como punto de partida para desarrollar argumentos sólidos que respalden la necesidad de reducir la PDA. En 2015, la Asamblea General de las Naciones Unidas (AGNU) estableció 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y 169 metas específicas para luchar contra la pobreza y el cambio climático, y contribuir a aumentar la prosperidad y el progreso de la sociedad mundial para 2030. A partir de entonces, la PDA se aborda en el marco del ODS 12 (*Consumo y Producción Responsables*) y, dentro de éste, en la meta nº 3, destinada a *“reducir a la mitad el desperdicio de alimentos per cápita en el mundo a nivel de minoristas y consumidores y reducir las pérdidas de alimentos a lo largo de las cadenas de producción y suministro, incluidas las pérdidas posteriores a la cosecha”*. El cumplimiento de esta meta repercute positivamente en otros ODS, como el ODS 2 (Hambre Cero) y el ODS 13 (Acción por el Clima), entre otros.

Para contribuir al ODS 12.3, la FAO estableció en el año 2015 el indicador 12.3.1 (Pérdidas mundiales de alimentos) con el que armonizar los datos mundiales de PDA, hasta entonces muy poco estandarizados. Como parte de la Agenda 2030, la Plataforma Técnica para la Medición y Reducción de las Pérdidas y Desperdicios de Alimentos de la FAO y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) siguen trabajando para mejorar la precisión de este indicador, que se mide a través de dos índices: el Índice de Pérdida de Alimentos (**IPA**), liderado por la FAO, y el Índice de Desperdicio de Alimentos (**IDA**), liderado por el PNUMA (FAO, 2019).

El **IPA**, según se observa en la Figura 1, mide el volumen de pérdida de alimentos que se produce durante las fases de postcosecha (cosecha y precosecha quedarían fuera del ámbito de este índice), transporte, almacenamiento, procesamiento y distribución al comercio minorista, sin incluirlo.

El **IDA**, por su parte, mide el volumen de desperdicio de alimentos a nivel de comercio minorista (venta al por menor) y consumidores (consumo público y hogares; Figura 1).



**Figura 1.** Ilustración de los índices de Pérdida y Desperdicio de Alimentos de la FAO. **Fuente:** FAO (2019).

La PDA está sujeta a criterios de apariencia en muchos casos subjetivos. Centrándonos en frutas y hortalizas, se estima que un tercio de la PDA está ligada a alimentos feos o imperfectos que, a pesar de ser perfectamente comestibles, son finalmente rechazados por el consumidor final por su aspecto imperfecto o por estética (forma, color o tamaño; FAO, 2019). La valorización o reincorporación de estos alimentos es clave para abordar con más eficiencia la reducción de la PDA.

El desperdicio de alimentos en general, incluyendo la fracción desperdiciada por tratarse de alimentos feos o imperfectos, constituye además una de las causas que incide sobre el cambio climático (Stenmarck et al., 2016). Su diagnóstico y cuantificación, principalmente en términos de emisiones de gases invernadero, pérdida de biodiversidad, contaminación y escasez de agua supone una cuestión prioritaria para organizaciones internacionales como la FAO, la Comisión Europea o el Departamento de Agricultura de los Estados

Unidos (USDA), entre otras. La huella hídrica y la huella de carbono son dos indicadores ampliamente considerados para evaluar el **impacto medioambiental** de la PDA. La huella hídrica está directamente vinculada al uso intensivo, e insostenible, del suelo. En este sentido, MAPA (2019) estima que la magnitud global que está alcanzando el desperdicio de alimentos equivaldría a la producción resultante del 30% de la superficie agrícola del planeta (aproximadamente 1.400 millones de hectáreas) o, dicho de otro modo, prácticamente un tercio del suelo agrícola del planeta está siendo destinado a la producción de alimentos que son finalmente desperdiciados en algún punto de la cadena agroalimentaria. El resultado en términos de huella hídrica, medida como el uso total de agua que se emplea para producir los bienes y servicios consumidos, se estima en 250 km<sup>3</sup> de agua desperdiciada (Figura 2), equivalente a 75 veces el consumo anual de agua en España. La huella de carbono, aparte de su indiscutible vinculación al laboreo agrícola y la manipulación de alimentos, suele asociarse además al proceso de deterioro (putrefacción) de los alimentos, vinculándose al desperdicio de alimentos la producción de 3.300 millones de toneladas métricas de CO<sub>2</sub> (equivalente a 3,3 gigatoneladas métricas; Figura 2). Junto a la huella hídrica y de carbono es preciso mencionar además la pérdida de biodiversidad (Figura 2), normalmente asociada (i) a la sustitución de zonas boscosas por superficies agrícolas destinadas a abordar, de forma ineficiente e insostenible, las necesidades de un sistema agroalimentario hegemónico, que en ciertos casos confunde rendimiento con eficiencia (Gascón, 2018; Gascón et al., 2022), basado en un irracional modelo de mercado de insumos y productos alimentarios conforme a decisiones políticas y (ii) al uso de pesticidas y fertilizantes que impactan negativamente en especies de flora y fauna.



**Figura 2.** Magnitud económica global de la PDA. **Fuente:** Bonfert et al. (2021).

Se evidencia que la PDA, sin suponer una cuestión novedosa sino más bien marcada por un reciente impulso por la Comisión Europea, constituye un grave problema con serias implicaciones sociales, económicas y medioambientales que necesita abordarse por las Administraciones Nacionales competentes de los países de la Unión Europea (UE) de forma coordinada, y que de estas se traslade al ordenamiento regional y local siguiendo una aproximación *top-down*. En línea con las soluciones contra la PDA analizadas por Gascón y Montagut (2014; política asistencial, prevención, innovación tecnológica y logística, y sensibilización), el presente estudio tiene la intención de manifestar el enorme trabajo que queda aún por hacer en los ámbitos (i) metodológico, desarrollando una metodología de cuantificación uniforme en Europa, (ii) institucional, traduciendo el imperativo de la Comisión Europea contra la PDA, desde la innovación, en políticas conjuntas a nivel nacional para su práctica eliminación, y (iii) estratégico, enfatizando la necesidad de trabajar en la prevención, no sólo en actuaciones reactivas de reducción de la PDA. Para ello, se presentan cifras de desperdicio de alimentos en países de la UE que dan una idea de la situación de partida de Europa y que evidencian la desarmonización que existe actualmente en los métodos de cuantificación.

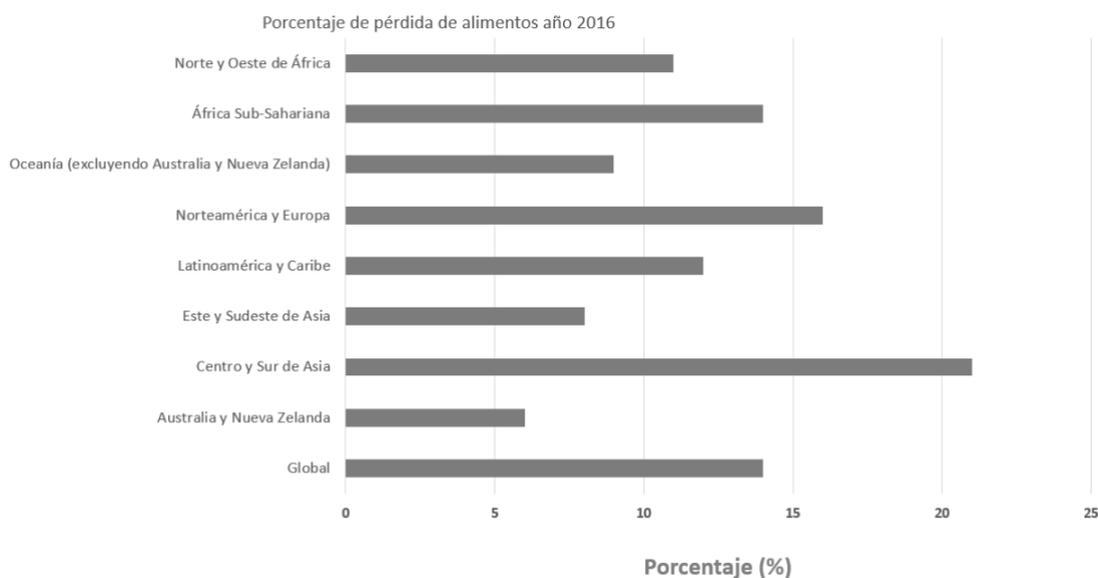
El paradigma de la economía circular, entendido como "un modelo de producción y consumo que implica compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes todas las veces que sea posible para crear un valor añadido (European Commission, 2016)" constituye el marco bajo el que evolucionar desde el modelo económico tradicional que se aplica actualmente, basado simplemente en 'usar y tirar'. Dentro del ámbito

de la UE, se focaliza la atención en España y Andalucía, que dan signos de avanzar en la reducción de la PDA, desde el contexto de la economía circular, conforme a la hoja de ruta marcada por la Comisión Europea, que si bien resulta todavía insuficiente y denota la necesidad de seguir trabajando en la divulgación para hacer a los agentes sociales del sector agroalimentario andaluz conocedores del alcance de esta problemática y partícipes de su resolución.

## **2. CUANTIFICACIÓN DE LA PÉRDIDA Y EL DESPERDICIO ALIMENTARIO**

La cuantificación de la PDA resulta sumamente compleja. Una de las primeras metodologías diseñadas para cuantificar la dimensión social y económica del desperdicio de alimentos fue desarrollada por la FAO en el año 2014 bajo el título "*Full-Cost Accounting*". Posteriormente, la *United Nations Environmental Programme* (UNEP) desarrolló la metodología "*True-Cost Accounting*" desde una perspectiva más holística que la anterior para evaluar los impactos positivos y negativos, y su valor o coste asociado, sobre la naturaleza y la sociedad. Conforme a esta metodología, los costes ambientales y sociales de la PDA a nivel mundial alcanzarían alrededor de 2.600 billones de dólares americanos, de los cuales 900 billones de dólares corresponderían a costes asociados a pérdidas de bienestar individual y 700 billones de dólares a costes sociales de impactos ambientales (Figura 2; los 1.000 billones de dólares restantes corresponderían a costes por pérdidas económicas de producción agrícola desperdiciada y perdida). Esta dimensión económica resulta aún más impactante y desoladora, si cabe, al visualizar los datos de FAO (2022), donde se concluye que 800 millones de personas pasaron hambre en el mundo en el año 2021, 46 millones de personas más que en el año 2020. Estas cifras constatan la ineficiencia e insostenibilidad del modelo agroalimentario global actual.

La Figura 3 muestra el porcentaje de pérdida de alimentos en diferentes continentes con respecto al total de alimentos producidos en 2016.



**Figura 3.** Porcentaje de pérdida de alimentos del total de alimentos producidos en el año 2016.

**Fuente:** Elaboración propia a partir de FAO (2019).

La tasa más alta de pérdida de alimentos en el año de referencia se registró en (1) Asia central y meridional y (2) América del Norte y Europa (alrededor del 21% y el 16% de los alimentos producidos en 2016 se perdieron en estas regiones, respectivamente). Junto con África, Asia es uno de los continentes con mayor número de países en vías de desarrollo (por ejemplo, India, Camboya o Vietnam), mientras que Europa y Norteamérica se consideran indiscutiblemente regiones desarrolladas. Por lo tanto, la diferencia en las tasas de PDA entre los países en vías de desarrollo y desarrollados radica en la etapa de la cadena agroalimentaria en la que se produce el desecho de alimentos (López-Barrera y Hertel, 2021). En los países desarrollados, donde los avances tecnológicos y la implementación de un modelo económico basado en sistema de mercado permiten que los productos alimentarios se transporten, almacenen, procesen y distribuyan en condiciones óptimas, la mayor tasa de desecho de alimentos se registra en las etapas de consumo y venta al por menor (es decir, por los mercados minoristas y los hogares particulares), en torno al 50 por ciento según la *Value Chain Management International Corporation* de Canadá (<https://vcm-international.com/>) y algunos autores como Li y Pan (2021), entre otros. Por el contrario, la ausencia de instalaciones adecuadas de almacenamiento, procesamiento y transporte postcosecha en los países en vías de desarrollo repercute en que un gran porcentaje de la producción total (30-

40 % según la iniciativa *Save Food* de la FAO) se pierda antes de llegar a la fase de consumo, es decir, en precosecha, postcosecha y distribución.

Según las estadísticas sobre PDA publicadas por la Comisión Europea en 2023, basadas en los datos recogidos por los países de la Unión Europea (UE) en 2020, en el año de referencia se desperdiciaron en Europa unos **131 kg/habitante/año** de alimentos (European Commission, 2023).

Sin embargo, todos estos datos deben valorarse con cautela, ya que la falta de una política de recogida de datos precisa y normalizada en algunos países de la UE puede afectar a su precisión. La publicación oficial más reciente que ofrece una visión de la magnitud del desperdicio de alimentos a nivel de los países de la UE es el Índice de Desperdicio de Alimentos (IDA) 2021 del PNUMA (Forbes et al., 2021), definido en el Apartado 1. En la Figura 4 se presenta la magnitud del desperdicio de alimentos, entendida como la suma de las estimaciones de desperdicio de alimentos en el comercio minorista, los servicios alimentarios y los hogares en kg/cápita(persona)/año según los datos disponibles (Figura 4.A), y centrada estrictamente en el desperdicio de alimentos por parte de los hogares (Figura 4.B), desglosada por países de la UE (47 en 2021).

Según la Figura 4.A, Grecia, Malta, Francia, Hungría y Dinamarca generan la mayor cantidad de residuos alimentarios en Europa. Focalizando la atención en el desperdicio de alimentos en los hogares (Figura 4.B) destacan Grecia y Malta. El país que muestra el mayor nivel de confianza en los datos es Dinamarca, mientras que los datos recogidos por el resto de países oscilan entre niveles de confianza medios y bajos.



**Figura 4.** Magnitud del desperdicio de alimentos en los países de la UE. **Fuente:** Elaboración propia a partir del Índice de Desperdicio de Alimentos publicado por el PNUMA en 2021.

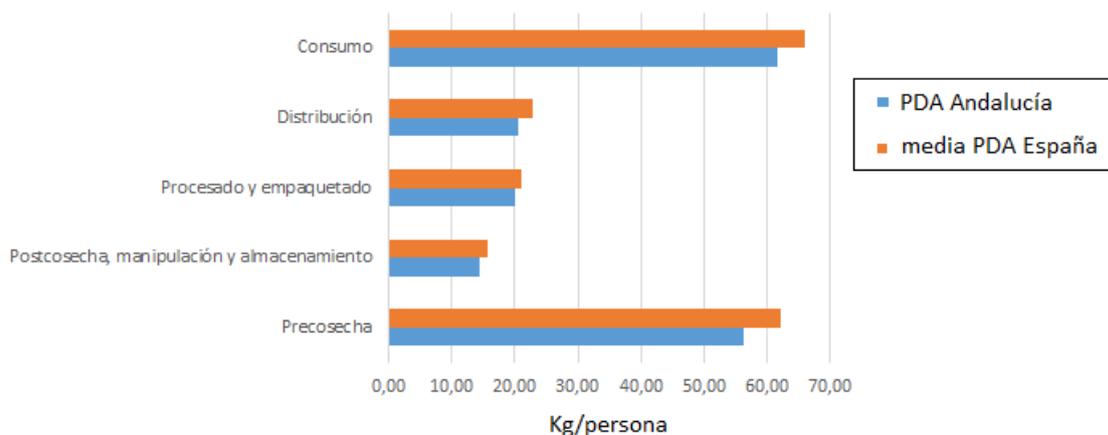
La controversia en los datos aparece de nuevo cuando se buscan datos cuantitativos sobre la PDA en España, situada lejos de encabezar el *ranking* de los países de la UE con mayores tasas de desperdicio de alimentos (20° de 47 países de la UE). Sin embargo, el proyecto FOODRUS (Datos del proyecto en Tabla 1) está trabajando sobre la base de que "España es el 7° país de la UE con más desperdicio de alimentos. Según los resultados del proyecto FUSIONS (Datos del proyecto en Tabla 1), en España se desperdician cada año alrededor de 2,9 millones de toneladas de alimentos, con unos costes asociados de 11.000 millones de euros, lo que correspondería al 18% del total de alimentos producidos al año en el país.

La primera estrategia para luchar contra el desperdicio de alimentos en España, denominada "Más alimentos, menos residuos", fue lanzada en 2013 por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAAMA, actualmente MAPA). Dentro de esta iniciativa, se puso en marcha en 2014 el primer panel de seguimiento de la cuantificación del desperdicio alimentario en los hogares españoles. Según la base de datos proporcionada por el panel, la cantidad de alimentos desperdiciados (por ejemplo frutas, verduras, carne y pan) en España se mantuvo casi constante con valores de 1352,5 y 1363,8 millones de kg en 2019 y 2020 respectivamente. Estos datos supondrían un desperdicio per cápita de 169 kg/persona y año, valores superiores a los que

arroja la Figura 4.B (valores máximos de 142 kg/persona). Esta variabilidad en los datos de desperdicio de alimentos demuestra una significativa inconsistencia en los conceptos y metodologías utilizadas a la hora de cuantificar la PDA, y ponen de manifiesto la necesidad de crear un marco normativo homogéneo y bien definido que no sólo regule la reducción de la PDA, sino que desarrolle una metodología de cuantificación consistente para que, de esta forma, se disponga de una imagen más realista de la magnitud de la PDA en España.

En el contexto nacional, Andalucía, la Comunidad Autónoma con mayor superficie (17,3% del territorio nacional) y mayor concentración de población (8.500.187 en 2022), registró sin embargo una tasa de consumo de alimentos per cápita (incluyendo bebidas) por debajo de la media española (media española en 2022: 583 kg o litros, dato de Andalucía: 552,12 kg o litros; MAPA, 2022). Al intentar extrapolar esta última afirmación con su tasa de PDA, nos encontramos ante la problemática de no disponer de datos de PDA en 2022 ni en años cercanos. No obstante, el estudio reciente de Di Donato y Carpintero (2021), donde se cuantifica la PDA (en kg/persona) producida en las diferentes fases de la cadena agroalimentaria (dividida en esta ocasión en 5 fases: 1. precosecha, 2. postcosecha, manipulación y almacenamiento, 3. procesado y empaquetado, 4. distribución y, finalmente, 5. consumo) a nivel regional en el año de referencia 2012, posiciona a Andalucía lejos de las regiones con mayor PDA en España. Conforme al citado estudio, las Comunidades Autónomas con tasas de PDA por encima de la media española en el año de referencia son, por orden, Galicia, Castilla y León, Navarra, País Vasco y Aragón, las tres últimas muy activas en la incorporación de la regulación de la PDA a su marco normativo. Andalucía, por su parte, se encuentra por debajo de la media española en todas las fases de la cadena agroalimentaria (Figura 5), y gran parte de ello se debe a la hoja de ruta de Andalucía hacia una economía cada vez más circular.

Dato de PDA en Andalucía Vs. media Española



**Figura 5.** Magnitud de la PDA (kg/persona) en Andalucía vs. media de España. **Fuente:** Elaborado por los autores conforme a los datos publicados por Di Donato y Carpintero (2021)

### 3. APOYO DE INICIATIVAS EUROPEAS EN I+D+I CONTRA LA PÉRDIDA Y DESPERDICIO DE ALIMENTOS

Con el ambicioso objetivo de reducir, e incluso eliminar, la PDA en Europa y escalarlo a escala global, la Comisión Europea está realizando un gran esfuerzo financiando proyectos innovadores que actúen sobre la totalidad de la cadena agroalimentaria (no sólo a nivel de consumidor) y que dediquen especial atención a la prevención de la PDA (no sólo reacción ante el desperdicio). Como resultado, más de 100 proyectos europeos destinados directa o indirectamente a la reducción de la PDA han sido financiados por la Comisión en los últimos 10 años, algunos de los más relevantes se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Algunos de los proyectos europeos I+D+i más relevantes que abordan la reducción de la PDA. **Fuente:** Elaboración propia a partir de datos accesibles a través del portal CORDIS de la Comisión Europea.

Acrónimo	Título	No. Grant Agreement	Link a CORDIS
ZeroW	Systemic Innovations Towards a Zero Food Waste Supply Chain	101036388	<a href="https://cordis.europa.eu/project/id/101036388">https://cordis.europa.eu/project/id/101036388</a>
FoodRus	Circular Solutions for Resilient Food Systems	101000617	<a href="https://cordis.europa.eu/project/id/101000617">https://cordis.europa.eu/project/id/101000617</a>
FUSIONS	Food Use for Social Innovation by Optimising Waste Prevention Strategies	311972	<a href="https://cordis.europa.eu/project/id/311972">https://cordis.europa.eu/project/id/311972</a>

Acrónimo	Título	No. Grant Agreement	Link a CORDIS
<i>SISTERS</i>	Systemics Innovations for a Sustainable Reduction of the European Food Wastage	101037796	<a href="https://cordis.europa.eu/project/id/101037796">https://cordis.europa.eu/project/id/101037796</a>
<i>LOWINFO OD</i>	Through the deploy, validation and boost of technological tools and organizational and managerial solutions	101000439	<a href="https://cordis.europa.eu/project/id/101000439">https://cordis.europa.eu/project/id/101000439</a>
<i>Chorizo</i>	Changing practices and Habits through Open, Responsible and social Innovation towards ZerO food waste	101060014	<a href="https://cordis.europa.eu/project/id/101060014">https://cordis.europa.eu/project/id/101060014</a>
<i>Ploutos</i>	A Sustainable Innovation Framework to Rebalance Agri-Food Value Chains	101000594	<a href="https://cordis.europa.eu/project/id/101000594">https://cordis.europa.eu/project/id/101000594</a>

Entre ellos destacaremos el **Proyecto ZeroW**, un proyecto en línea con el ambicioso reto de reducir a la mitad la PDA en Europa para 2030 y reducirlo prácticamente a cero en 2050. ZeroW se fundamenta en la innovación, basado en la creación de 9 *Living Labs* (entendidos como un espacio de co-creación multidisciplinar dónde desarrollar colaborativamente innovaciones tecnológicas y de gobernanza con un objetivo específico), desde los que se trabaja en la cuantificación de la PDA a través de indicadores KPIs (Key Performance Indicators) predefinidos en todas las fases de la cadena de valor, implicando a todos los agentes sociales involucrados en la cadena de suministro y aplicado a alimentos perecederos (frutas y hortalizas, carne y pescado), cuya vida útil es más limitada y requieren, por tanto, de una estrategia de manipulación y distribución más eficiente.

#### 4. HACIA EL RETO DE REGULAR LA PÉRDIDA Y DESPERDICIO DE ALIMENTOS EN ESPAÑA

La reducción de la PDA a nivel europeo se aborda desde la Directiva 2018/851, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos, donde se incluye la definición de residuo alimentario y su prevención. Esta Directiva establece la obligación de que los Estados Miembros incluyan programas de prevención de residuos y que supervisen y evalúen la

aplicación de sus medidas de prevención mediante la medición de tales residuos siguiendo una metodología común. Por otro lado, la Decisión Delegada UE 2019/1597, de 3 de mayo de 2019, por la que la Comisión Europea complementa la Directiva de residuos “en lo que concierne a una metodología común y a los requisitos mínimos de calidad para la medición uniforme de los residuos alimentarios”, establece una base de referencia y propone objetivos jurídicamente vinculantes para reducir el desperdicio de alimentos en Europa. Así, la Comisión integra la pérdida de alimentos y la prevención del desperdicio en otras políticas de la UE. Además de cuantificar los niveles de desperdicio de alimentos, la Comisión investigará las pérdidas de alimentos en la fase de producción y estudiará las formas de prevenirlas.

En lo relativo a España, en el mes de octubre del año 2021 el Consejo de Ministros aprobó el Anteproyecto de Ley de Prevención de las Pérdidas y el Desperdicio Alimentario tras un proceso de consulta abierta con los agentes sociales a través de cuatro talleres participativos. En el mes de junio del año 2022, la Mesa de la Cámara acordó el Proyecto de Ley bajo el mismo título. El proceso de aprobación de la Ley finalizaría tras la debida tramitación parlamentaria, sin embargo este paso no se ha dado actualmente y el Proyecto de Ley no ha sido aprobado aún.

La Estrategia Española de Economía Circular está llamada a cumplir los objetivos de reducción de la PDA en Europa para 2030 mediante la reducción de la generación residuos de alimentos en toda la cadena agroalimentaria en los siguientes términos: 50% de reducción per cápita a nivel de hogar y consumo minorista y un 20% en las cadenas de producción y suministro a partir del año 2020. No obstante, resulta imprescindible disponer de un marco normativo específicamente direccionado a regular la PDA en España.

Respecto a Andalucía, la Consejería de Agricultura, Pesca, Agua y Desarrollo Rural aprobó en marzo de 2023 la Ley de Economía Circular de Andalucía, donde se presentan los mecanismos necesarios para la implementación de políticas en materia de bioeconomía, más concretamente centradas en la necesidad de planificación sobre el desperdicio alimentario y con el objetivo de disminuir la cantidad de productos de alimentación aptos para el consumo destinados a residuos. La Ley contempla, entre otros aspectos, la elaboración

de planes municipales de economía circular que aborden la reducción del desperdicio alimentario, la utilización de envases compostables para los alimentos no consumidos, así como acuerdos voluntarios de carácter social en materia de alimentación, centrados fundamentalmente en la donación de alimentos y otros medios de redistribución para el consumo humano. Además, desde la Consejería de Salud y Consumo, se contemplan medidas para promover la alimentación saludable y sostenible en los centros docentes, sanitarios, sociales, sociosanitarios y dependencias del sector público centradas en limitar el desperdicio alimentario.

## 5. CONCLUSIONES

Se concluye recalcando la necesidad de avanzar (1) en el conocimiento y cuantificación de la PDA, (2) en estrategias de valorización y, sobre todo, (3) en su prevención. La Comisión Europea está trabajando en esta dirección, apostando fuertemente por la reducción de la PDA mediante un ODS concreto y desde el paradigma de la economía circular. Los países de la UE se han hecho eco y, aunque a diferente ritmo, están trabajando en incorporar las directrices de la UE sobre la PDA en su marco normativo, sin embargo España da síntomas de necesitar ampliar el esfuerzo para cumplir la recomendación de reducir la PDA al 50% para el año 2030. Ante la ausencia de una hoja de ruta firme a nivel nacional, algunas regiones han ido avanzando a criterio propio según el mandato europeo. En Andalucía, a diferencia de regiones como Cataluña, País Vasco o Navarra, queda aún mucho trabajo por hacer. Numerosas empresas, Administraciones y sociedad civil están trabajando colaborativamente en proyectos I+D+i europeos que abordan la cuantificación de la PDA en todas las fases de la cadena agroalimentaria, la implicación de todos los agentes sociales involucrados (caso destacable del proyecto ZeroW) y su prevención. Extrapolar este avance a un marco normativo específico es la asignatura pendiente de España, pero el marco temporal establecido por la UE (2030-2050) para reducir significativamente la PDA apremia a la Administración del Estado a pasar a la acción de forma inminente.

## AGRADECIMIENTOS

El enfoque del presente artículo se enmarca en los objetivos del proyecto Horizonte 2020 ZeroW (Systemic Innovations Towards a Zero Food Waste Supply Chain), financiado por el Programa Marco de Investigación e Innovación de la Comisión Europea 2014-2020 (Horizonte 2020) mediante el *Grant Agreement* no. 101036388.

## REFERENCIAS

- BARCO, H., ORIBE-GARCÍA, I., VARGAS-VIEDMA, M.V., BORGES, C.E., MARTÍN, C., & ALONSO-VICARIO, A. (2019). New methodology for facilitating food wastage quantification. Identifying gaps and data inconsistencies. *Journal of Environmental Management*, 234, 512-524. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.037>
- BONFERT, B., BURKE, M., CAFFREY, A., MADERSON, S., MOLOTOKS, A., PEARCE, J., & TAK, M. (2021). A tool in the toolkit: can true cost accounting remove siloed thinking about food loss and waste? Recuperado de: [www.foodsecurity.ac.uk/publications](http://www.foodsecurity.ac.uk/publications)
- DI DONATO, M., & CARPINTERO, O. (2021). Household Food Metabolism: Losses, Waste and Environmental Pressures of Food Consumption at the Regional Level in Spain. *Foods*, 10, 1166. <https://doi.org/10.3390/foods10061166>
- EUROPEAN COMMISSION (2016). Closing the loop. New circular economy package. Recuperado de: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/573899/EPRS\\_BRI%282016%29573899\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/573899/EPRS_BRI%282016%29573899_EN.pdf)
- EUROPEAN COMMISSION (2023). Food waste statistics. Recuperado de: [https://food.ec.europa.eu/system/files/2023-03/fw\\_eu-actions\\_ms\\_20230307\\_pres-01.pdf](https://food.ec.europa.eu/system/files/2023-03/fw_eu-actions_ms_20230307_pres-01.pdf)
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2011. Pérdidas y desperdicio de alimentos a nivel mundial. Alcance, causas y prevención. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/i2697s/i2697s.pdf>

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2013. Food waste footprint. Impact on natural resources. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/i3347e/i3347e.pdf>

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2014. Food losses and waste in the context of sustainable food systems. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/i3901e/i3901e.pdf>

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2015. Global initiative on food loss and waste reduction. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/i4068e/i4068e.pdf>

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2019. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/ca6030es/ca6030es.pdf>

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2022. El estado de la seguridad alimentaria y nutricional en el mundo. Adaptación de las políticas alimentarias y agrícolas para hacer las dietas saludables más asequibles. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/cc0639es/cc0639es.pdf>

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2023. El estado de la seguridad alimentaria y nutricional en el mundo. Reorientar las políticas alimentarias y agrícolas para que las dietas saludables sean más asequibles. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/cc6550es/cc6550es.pdf>

FORBES, H., QUESTED, T., & O'CONNOR, C. (2021). Food Waste Index Report 2021. Recuperado de: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35280/FoodWaste.pdf>

GASCÓN, J. (2018). Food waste: a political ecology approach. *Journal of Political Ecology*, 25, 587-601. doi: <https://doi.org/10.2458/v25i1.23119>

- GASCÓN, J., & MONTAGUT, X. (Eds.) (2014). *Alimentos desperdiciados. Un análisis del derroche alimentario desde la soberanía alimentaria*. Barcelona; Quito: Icaria; Instituto de Altos Estudios Nacionales.
- GASCÓN, J., SOLÁ, C., & LARREA, C. (2022). Inequidad en la cadena agroalimentaria y desperdicio de alimentos. El caso de la producción frutícola de Lleida. *Distribución y Consumo*, 172, 57-62.
- KLING, W. (1943). Food waste in distribution and use. *Journal of Farm Economics*, 25, 849-859. doi: <https://doi.org/10.2307/1231591>
- LI, H., & PAN, P. (2021). Food waste in developed countries and cold chain logistics. *E3S Web of Conferences*, 251, 03001. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125103001>
- LÓPEZ-BARRERA, E., & HERTEL, T. (2021). Global food waste across the income spectrum: Implications for food prices, production and resource use. *Food Policy*, 98, 101874. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.101874>
- MAPA. MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN (2019). Más alimento, menos desperdicio. Memoria anual 2019. Recuperado de: [https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/desperdicio/16memoria anual estrategia desperdicio 2019 tcm30-627865.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/desperdicio/16memoria%20anual%20estrategia%20desperdicio%202019_tcm30-627865.pdf)
- MAPA. MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN (2022). Informe del consumo alimentario en España 2022. Recuperado de: [https://www.mapa.gob.es/eu/alimentacion/temas/consumo-tendencias/informe-consumo-2022-baja-res\\_tcm35-655390.pdf](https://www.mapa.gob.es/eu/alimentacion/temas/consumo-tendencias/informe-consumo-2022-baja-res_tcm35-655390.pdf)
- STENMARCK, A., JENSEN, C., QUESTED, T., & MOATES, G. (2016). Estimates of European food waste levels. FP7 FUSIONS Project: Reducing food waste through social innovation. Recuperado de: <https://www.eu-fusions.org/phocadownload/Publications/Estimates%20of%20European%20food%20waste%20levels.pdf>

TEUBER, R., & DEJGARD-JENSEN, J. (2020). Definitions, measurement, and drivers of food loss and waste. En M.R. Kosseva & C. Webb (Eds.), *Food Industry Wastes* (pp. 3-18). Elsevier Inc. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817121-9.00001-2>





## **Análisis estratégico de la implantación de la bioeconomía circular en Andalucía a través del análisis DAFO**

Samir Sayadi<sup>1</sup>, Mar Cátedra<sup>2</sup>, Carmen Capote<sup>2</sup>, Carlos Parra<sup>1</sup>, Guillermo García<sup>1</sup>,  
Milagros Argüelles<sup>3</sup> y Esther Ortiz<sup>3</sup>

---

Autor de Correspondencia: samir.sayadi@juntadeandalucia.es

---

### **Resumen:**

Este artículo examina el contexto legislativo de la bioeconomía circular a distintos niveles - europeo, nacional y regional - destacando el favorable entorno normativo que ha promovido a Andalucía a avanzar en un modelo económico fundamentado en la bioeconomía circular. Además, se presenta el proyecto europeo ROBIN, que se erige como plataforma innovadora para la evolución de los modelos de gobernanza en este ámbito, propiciando la actualización y mejora de la Estrategia Andaluza de Bioeconomía Circular. Asimismo, se subraya el importante potencial que la amplia gama de recursos biomásicos de Andalucía ofrece, situando a la región a la vanguardia de la bioeconomía circular. También, se lleva a cabo un análisis DAFO para identificar las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades de la región, contribuyendo así al avance del modelo actual de bioeconomía circular. Finalmente, se identifican los desafíos futuros que implica el desarrollo de la bioeconomía circular en Andalucía, y cómo el proyecto ROBIN puede resultar clave para avanzar hacia una mayor gobernanza y un modelo económicamente sostenible.

**Palabras clave:** bioeconomía circular, proyecto ROBIN, Andalucía, recursos biomásicos, análisis DAFO.

## **Strategic analysis of the implementation of circular bioeconomy in Andalusia through SWOT analysis**

Samir Sayadi<sup>1</sup>, Mar Cátedra<sup>2</sup>, Carmen Capote<sup>2</sup>, Carlos Parra<sup>1</sup>, Guillermo García<sup>1</sup>,  
Milagros Argüelles<sup>3</sup> and Esther Ortiz<sup>3</sup>

### **Abstract:**

This article examines the legislative context of circular bioeconomy at different levels - European, national, and regional - highlighting the favorable regulatory environment that has enabled Andalusia to progress towards an economic model based on circular bioeconomy. Additionally, it presents the European project ROBIN, which stands as an innovative platform for the evolution of governance models in this field, fostering the updating and improvement of the Andalusian Circular Bioeconomy Strategy. Furthermore, it emphasizes the significant potential offered by Andalusia's wide range of biomass resources, positioning the region at the forefront of the circular bioeconomy. Moreover, a SWOT analysis is conducted to identify the region's strengths, weaknesses, opportunities, and threats, thus contributing to the advancement of the current circular bioeconomy model. Finally, future challenges implied by the development of circular bioeconomy in Andalusia are identified, and how the ROBIN project can play a key role in advancing towards enhanced governance and a financially sustainable model.

---

<sup>1</sup> IFAPA Camino de Purchil (Granada)

<sup>2</sup> Consejería de Agricultura, Pesca, Agua y Desarrollo Rural

<sup>3</sup> TRAGSATEC

**Key Words:** circular bioeconomy, ROBIN project, Andalusia, biomass resources, SWOT analysis.

## 1. LA BIOECONOMÍA CIRCULAR: CONTEXTO ACTUAL

Entre los desafíos más relevantes a los que se enfrenta nuestra sociedad se encuentra un modelo económico dependiente de recursos no renovables y combustibles fósiles, que se ve agravado por un crecimiento demográfico constante y las consecuencias del cambio climático.

Frente a este escenario, la **Comisión Europea** publicó en 2012 la **Estrategia de Bioeconomía** y su **Plan de Acción**, delineando las acciones necesarias para abordar de forma integral la seguridad alimentaria, la escasez de recursos naturales, la dependencia de los combustibles fósiles y el cambio climático, con el objetivo de lograr un crecimiento económico sostenible a través de la creación de empleo y la competitividad (Comisión Europea, 2012). En octubre de 2018, se actualizó la Estrategia europea, incorporando catorce acciones destinadas a maximizar la contribución de la bioeconomía a las grandes prioridades políticas europeas (Comisión Europea, 2018).

En abril, de 2023, el **Consejo de la Unión Europea** aprobó unas **Conclusiones sobre las oportunidades de la bioeconomía** a la luz de los retos actuales, con especial incidencia en las zonas rurales (Consejo de la Unión Europea, 2023). En estas Conclusiones el Consejo reconoce el importante papel de la bioeconomía circular para hacer frente a los retos actuales, en particular en lo que respecta al clima, a la biodiversidad, la energía y la seguridad alimentaria. Además, indica que es un modelo importante para la economía de la Unión, pues permite proporcionar productos esenciales, aumentar la competitividad, diversificar los ingresos y crear empleo en las zonas rurales y costeras.

En este documento se pide a los Estados miembros y a sus regiones que sigan desplegando una **bioeconomía sostenible y circular** de manera holística y coordinada y que sigan trabajando en sus políticas, como marco propicio para guiar una transición sostenible y justa para integrar mejor la bioeconomía en otras políticas. Asimismo, reconoce el papel de las estrategias nacionales y regionales para la biomasa sostenible, destacando la importancia de la cooperación transfronteriza en el desarrollo de la bioeconomía. También resalta

la necesidad de una cooperación internacional en este ámbito para hacer frente a los desafíos mundiales comunes y la oportunidad que ofrece la bioeconomía para contribuir a procesos y compromisos globales.

A escala nacional, se adoptó la **Estrategia Española de la Bioeconomía Horizonte 2030** a finales de 2015. Esta Estrategia pivota sobre el sector público, que tiene la responsabilidad de impulsarla y dinamizarla, y se fundamenta en el triángulo ciencia-economía-sociedad. Se enfoca en diversas áreas o ámbitos de interés: agroalimentario, forestal, pesca, acuicultura y explotación de recursos marinos, industria química, bioenergía y agua.

Andalucía también apostó por este enfoque innovador y desarrolló su propia **Estrategia Andaluza de Bioeconomía Circular**, aprobada en 2018, convirtiéndose en una de las primeras regiones europeas en adoptar una estrategia en este ámbito. Dicha Estrategia está centrada en los sectores y actividades de la bioeconomía menos desarrollados y que, por tanto, requieren mayor apoyo institucional a través de la implementación de medidas y actuaciones específicas que faciliten su despegue y consolidación a medio-largo plazo.

En este contexto, la **bioeconomía circular** se puede definir como un “modelo económico circular basado en la producción y utilización de recursos biomásicos renovables y su transformación sostenible y eficiente en bioproductos, bioenergía y servicios para la sociedad” (Junta de Andalucía-a, 2023). Este modelo permite abordar los retos sociales y económicos actuales, constituyendo una pieza clave para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador. Los sistemas productivos se combinan con la innovación y el conocimiento, generando una amplia gama de procesos, productos e industrias con el potencial de impulsar el desarrollo regional.

Recientemente, el Parlamento de Andalucía ha aprobado la **Ley 3/2023, de 30 de marzo de Economía Circular de Andalucía (LECA)**, cuyo objeto es la regulación de una serie de medidas para propiciar la transición hacia un nuevo modelo de protección ambiental basado en una economía circular. Este modelo promueve el uso eficiente de los recursos, prolongar la vida útil de los

productos y minimizar la generación de residuos, a la vez que persigue contribuir al crecimiento económico sostenible y a la generación de empleo, preservando los espacios y recursos naturales. Esta Ley considera al tejido empresarial, a los agentes del conocimiento y a la ciudadanía como elementos clave para esta transición mediante la adecuada gestión de residuos y el consumo responsable. La LECA contempla elaborar una Estrategia Andaluza para la Economía Circular, que integrará y armonizará los principios y criterios relativos a la economía circular incluidos en los planes y estrategias sectoriales, especialmente en las planificaciones relativas a producción y gestión de residuos y bioeconomía circular.

Es importante hacer una referencia a la relación entre la bioeconomía, la bioeconomía circular y la economía circular y a la definición de dichos conceptos. La **bioeconomía** engloba al conjunto de todas las actividades económicas relacionadas con la producción, transformación y utilización, directa o indirecta, de recursos de origen biológico con el fin de producir y transformar biomasa para el suministro de alimentos, piensos, materiales, energía y servicios relacionados con los ciudadanos. La **bioeconomía circular** integra los conceptos de bioeconomía y economía circular con la vocación de representar un modelo económico sostenible social y ambientalmente. Además, se centra en las cadenas de valor ligadas a la producción de biomasa y la economía de base biológica planteando el reto de la sostenibilidad por lo que al hablar de **bioeconomía circular** hablamos de sustituir recursos fósiles por recursos biológicos, del uso en cascada de la biomasa y de minimizar los residuos. La **economía circular** (economía cero residuos) es un modelo de producción, distribución y consumo en el que el valor de los productos, materiales y demás recursos permanece el mayor tiempo posible, potenciando su uso sostenible y eficiente y reduciendo al mínimo la generación de residuos, el consumo y el desperdicio, mediante acciones integrales y coordinadas. Por tanto, la **bioeconomía circular** envuelve elementos comunes a ambos conceptos, como son la mejora del uso de los recursos y la ecoeficiencia, la reducción de la huella de carbono, la reducción de la demanda de carbono fósil, y la valorización de los residuos. Conectar la bioeconomía y la economía circular e integrar la una con la otra resulta crucial ya que juntas se potencian y cobran más fuerza para alcanzar objetivos sociales, económicos y sostenibles,

constituyendo de esta forma la estrategia necesaria para catalizar la transformación hacia una economía más verde y sostenible. (Berbel y Borrego, 2021; Sayadi, 2023).

En este contexto legislativo y de desarrollo económico, los entes regionales europeos tienen un papel crucial que desempeñar como agentes de un desarrollo económico justo, inclusivo y resiliente en sus territorios. Por ello, es fundamental el papel que representa el proyecto europeo **ROBIN (Deploying circular BIOecoNomies at Regional level with a territorial approach - Despliegue de bioeconomías circulares a nivel regional con un enfoque territorial)**, que pretende capacitar a las regiones europeas para que adapten sus modelos y estructuras, acelerando la consecución de los objetivos de bioeconomía circular, promoviendo la innovación social y teniendo en cuenta los diferentes contextos territoriales.

## **2. EL PROYECTO ROBIN: INNOVACIÓN EN GOBERNANZA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA BIOECONOMÍA CIRCULAR**

El proyecto europeo ROBIN pretende establecer y demostrar el potencial de estructuras y modelos innovadores de gobernanza de la bioeconomía circular en cinco regiones europeas: Macedonia Central (Grecia), Región Sur (Irlanda), Zilina (Eslovaquia), Baden-Wurttemberg (Alemania) y Andalucía (España) (Proyecto europeo ROBIN, 2023). En la región de Andalucía, los socios participantes son: la Consejería de Agricultura, Pesca, Agua y Desarrollo Rural (CAPADR), el Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica (IFAPA), y la Fundación Corporación Tecnológica de Andalucía (CTA).

El proyecto ROBIN, con una duración de tres años (desde septiembre de 2022 hasta agosto de 2025), se compone de un consorcio de 13 socios representando a las cinco regiones mencionadas. El proyecto está financiado por la Comisión Europea en el marco del Programa Horizonte Europa bajo la convocatoria HORIZON-CL6-2021-GOVERNANCE-01 (Innovative governance, environmental observations and digital solutions in support of the Green Deal), con un presupuesto de 2.499.953 €.

Para desplegar la bioeconomía circular, el proyecto se ha iniciado con la **creación de cinco Constelaciones Regionales Multi-Actor (MARC)**, una en cada región, definidas como grupos de trabajos de cooperación regionales, involucrando a más de 50 actores representantes de la cuádruple hélice de las 5 regiones participantes (sector público, privado, académico y la sociedad civil) comprometidos en co-crear y trabajar con nuevas estructuras de gobernanza. Estas estructuras están bien integradas en las estructuras organizativas ya existentes en las regiones del proyecto, y tienen como objetivo coordinar y ejecutar estrategias de bioeconomía circular con y para todo el ecosistema de actores. En Andalucía, más de 15 actores de la cuádruple hélice se han unido para desarrollar el actual modelo de bioeconomía circular, basado en la Estrategia Andaluza de Bioeconomía Circular.

Durante el desarrollo del proyecto, se coordinarán las acciones con la Oficina de Coordinación y Apoyo de la Iniciativa de **Ciudades y Regiones Circulares** (Regions Initiative's Coordination and Support Office: CCRI-CSO), con otras iniciativas europeas complementarias. Este enfoque permitirá una mayor difusión de los resultados, garantizando su sostenibilidad a largo plazo como soluciones viables para apoyar la adopción de modelos de gobernanza en las regiones europeas que faciliten la transición hacia una bioeconomía circular.

Asimismo, el proyecto ROBIN proporcionará apoyo a medida para una participación más amplia e inclusiva de los actores clave. Además, se desarrollarán **herramientas digitales prácticas (Toolbox)** para mejorar el diseño, funcionamiento y seguimiento de los modelos de gobernanza.

Paralelamente, se implementará un marco de seguimiento y evaluación que medirá el impacto de las acciones y herramientas de apoyo generadas en el proyecto, proporcionando datos cuantificables sobre su **impacto económico, social y ambiental** en las regiones. Los resultados del proyecto serán utilizados por **más de 10 autoridades regionales europeas** para evaluar las herramientas, demostrando su transferibilidad y ofreciendo oportunidades para el aprendizaje mutuo y el desarrollo de capacidades. De este modo, se podrán **evaluar y comunicar los resultados**, informar las políticas, promover el aprendizaje mutuo y elaborar un plan de **explotación y sostenibilidad de los resultados**.

En la Figura 1 se muestra un resumen del contexto metodológico del proyecto ROBIN y las medidas de coordinación y apoyo esperados.



Figura 1. Contexto metodológico del proyecto ROBIN. Fuente: Proyecto europeo ROBIN (2023).

### 3. ANDALUCÍA Y SU POTENCIAL BIOMÁSICO

En Andalucía existe una amplia **diversidad de sectores** que pueden favorecer el desarrollo de un modelo económico basado en la bioeconomía circular. En este sentido, la **actividad agraria** juega un papel destacado, siendo la fuente principal de empleo en la mitad de los municipios de Andalucía. Predominan las producciones de frutas y hortalizas, generalmente cultivados en invernaderos. Además, Andalucía se posiciona como líder mundial en el **sector olivarero**, contando con más de 1.5 millones de hectáreas y generando más del 24% del valor de la producción agraria andaluza y más del 80% de la producción del aceite de oliva de España (Junta de Andalucía-c, 2015).

Otros cultivos relevantes incluyen extensos viñedos, cereales, plantaciones de cítricos, y subsectores como el arroz, el algodón y el girasol. La diversidad agrícola de Andalucía se debe a su **variada orografía**, que comprende zonas de dehesa, campiña, olivar, Bajo Guadalquivir, litoral, Sierras Béticas, entre otras.

En paralelo a la agricultura, los sectores con potencial para impulsar la bioeconomía circular en Andalucía abarcan la ganadería, forestal y silvicultura, pesca y acuicultura, industria agroalimentaria (especialmente los sectores oleícola y vitivinícola), industria textil de base biológica, industria de la madera y el mueble, industria del papel, industria química, farmacéutica, del plástico y

del caucho de base biológica, y producción de bioelectricidad. Estos sectores ofrecen una amplia variedad de **recursos potenciales para la obtención de bioproductos y bioenergía**, como la biomasa residual de cultivos agrícolas, restos de poda, residuos y subproductos ganaderos, descartes y subproductos de la industria pesquera, biomasa forestal y subproductos de la industria agroalimentaria, entre otros.

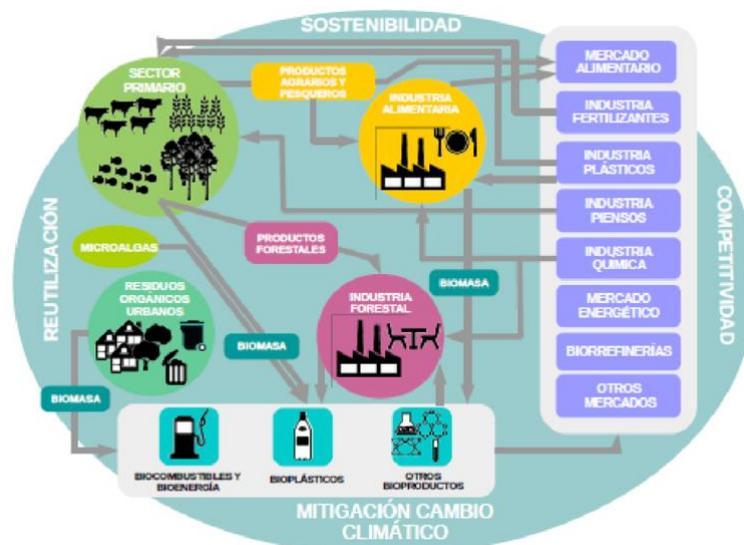
En el caso concreto de la **actividad agraria** de Andalucía, los **recursos biomásicos** que se generan de la **agricultura** son muy diversos debido a la variedad de los cultivos. Estos **recursos biomásicos** presentan peculiaridades y especificidades, así como características físico-químicas que determinan su uso, actual y potencial, la logística necesaria para su aprovechamiento, las tecnologías más adecuadas para su transformación y el tipo de bioproductos que se pueden obtener a partir de ellos. Dichos recursos se estiman aproximadamente en 8,8 Mt de biomasa al año, destacando los cereales con 2,7 Mt anuales, el olivar con 2 Mt anuales y los horticolas protegidos con 1,3 Mt anuales (Junta de Andalucía-b, 2023). En cuanto a la **ganadería**, Andalucía cuenta con una cabaña ganadera diversificada con una destacada presencia de ovino, caprino, porcino, bovino y aves. Además de las producciones animales (carne, leche, huevos, lana, piel, etc.), la biomasa o material biológico que genera la ganadería como subproducto de su actividad reviste interés como materia prima de otros procesos productivos. Se trata de material orgánico de origen animal y vegetal que se produce en las explotaciones ganaderas, compuesto de gallinaza, estiércol, purines, restos de paja y otros materiales diversos que conforman las camas y lechos de los animales, así como restos de piensos y otros alimentos alterados que ya no son aptos para el consumo. Los recursos biomásicos generados por el sector ganadero se estiman en 5,3 Mt al año, destacando los derivados del ganado porcino con 3,1 Mt anuales y los del ganado bovino con 1,4 Mt anuales (Junta de Andalucía-b, 2023).

Por otra parte, en la **agroindustria** andaluza, los recursos biomásicos se estiman en 5,1 Mt al año. Es de destacar la agroindustria del olivar, donde se genera una importante cantidad de material biológico, representando aproximadamente 4,2 Mt anuales (Junta de Andalucía-b, 2023), en forma de hojín, alperujo y hueso

de aceituna (Villanueva y La Cal, 2023; Berbel y Delgado, 2017), que se utiliza actualmente en gran medida con fines energéticos, pero que posee un gran potencial aún por explorar en la obtención de otros bioproductos.

En conclusión, Andalucía es una región con un sistema agroalimentario con gran capacidad para la obtención de bioproductos a partir de restos vegetales (Egea et al., 2021; Sayadi et al., 2019) y cuenta con sectores como la agricultura, ganadería o agroindustria que pueden contribuir de forma exitosa a este nuevo modelo económico.

La Figura 2 ilustra la interrelación entre los sectores mencionados y los recursos biomásicos. La mayoría de las cadenas de valor de estos recursos biomásicos están vinculadas con el aprovechamiento bioenergético (como la cogeneración y generación de energía de biomasa, calefacción de biomasa, conversión en biocombustibles sólidos como pélets o astillas de madera). Además, Andalucía cuenta con una gran capacidad biotecnológica para expandir la utilización de recursos biomásicos como materia prima en sectores más allá del sector de la bioenergía.



**Figura 2.** Relación de sectores y potencial biomásico. **Fuente:** Estrategia Andaluza de Bioeconomía Circular (2018).

#### 4. ANÁLISIS ESTRATÉGICO DE LA BIOECONOMÍA CIRCULAR EN ANDALUCÍA

En la Estrategia Andaluza de Bioeconomía Circular se realizó un **análisis DAFO** de la bioeconomía en Andalucía, centrado en los aspectos internos (**fortalezas y debilidades**) y externos (**oportunidades y amenazas**).

Mediante el proyecto europeo ROBIN se ha revisado este análisis y otros estratégicos llevados a cabo en sectores relevantes de Andalucía, como el efectuado por el Proyecto Interreg REINWASTE (*REmanufacture the food supply chain by testing INNovative solutions for zero inorganic WASTE*) (Sayadi et al., 2019; Sayadi et al.; 2020; Proyecto Interreg Reinwaste, 2021); y el Informe de Factores habilitantes y limitantes para el éxito de iniciativas de bioeconomía circular en Andalucía (Berbel et al., 2021). A partir de estas revisiones, se construyó un renovado análisis DAFO estratégico de la bioeconomía circular en Andalucía, el cual se validó en un taller de expertos celebrado en mayo de 2023, bajo el amparo del Proyecto ROBIN y con la colaboración de los miembros de la MARC andaluza.

A continuación, se detallan las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades (DAFO) de la implementación de la bioeconomía circular en Andalucía.

De esta forma, se detectan las siguientes **debilidades**:

- Estacionalidad territorial y temporal de los recursos biomásicos, así como diversidad.
- Falta de centros logísticos optimizados para una buena gestión de los recursos biomásicos a lo largo de la cadena de valor.
- Escaso desarrollo de biorrefinerías integrales y de las industrias de base biológica.
- Dificultades para pasar del prototipo a un escalado comercial de bioproductos.
- Falta de estandarización de estos nuevos bioproductos con respecto a otros más innovadores ya establecidos.

- Deficiente cultura empresarial de innovación para afrontar la adaptación tecnológica de nuevos productos y procesos de fabricación.
- Falta de una regulación específica, clara y reconocida para los productos de origen biológico.
- Desconocimiento social de lo que supone y significa la bioeconomía circular, así como la deficiente promoción de productos y servicios derivados de las actividades asociadas a la bioeconomía circular.
- Falta de iniciativas conjuntas entre el Sistema de I+D+i y los sectores asociados, y desconocimiento de las demandas del sector en cuanto a bioeconomía circular.
- Instrumentos de financiación no suficientemente flexibles para las empresas de base tecnológica.
- Falta de mecanismos facilitadores para el establecimiento de alianzas entre los agentes interesados de la cuádruple hélice.

Las **amenazas** identificadas se centran en:

- Disminución de la cantidad de recursos biomásicos disponibles debido a los efectos del cambio climático.
- Deficiencias en la conexión entre los centros regionales andaluces y otros mercados internacionales.
- Altos costes de las nuevas tecnologías para las empresas y poca disponibilidad de mercado.
- Incertidumbre en el desarrollo de posibles mercados y existencia de competencia con productos más baratos no renovables.
- Bajos rendimientos de producción de los bioproductos y alto coste asociado a los mismos.

- Falta de claridad en la transmisión del concepto de bioeconomía circular y canales adecuados de comunicación y difusión que dificultan su entendimiento y adopción entre los diferentes agentes implicados.
- Relativa desconexión entre la estructura empresarial y el sistema andaluz de conocimiento, y reducida actividad de muchos componentes de este último que hacen que se reduzca el potencial de mejora y de desarrollo de la industria más innovadora.
- Dificultad de acceso y poca capacidad a la financiación del sector privado, en especial las pymes.
- Dificultad, trabas administrativas y complejidad para la puesta en marcha y desarrollo de proyectos innovadores de bioeconomía circular en el territorio.

En contraste, se resaltan las siguientes **fortalezas** de este modelo en Andalucía:

- Alta capacidad de producción de recursos biomásicos derivados de la agricultura, ganadería, agroindustria, sector forestal y pesca, así como de lodos de depuradora y biorresiduos de competencia municipal.
- Importante tejido agroindustrial con capacidad de participar en procesos de base biológica y un continuo desarrollo de la bioenergía y un ecosistema biotecnológico favorable para la transformación y valorización de los recursos biológicos.
- Creciente demanda del sector para usos tradicionales de determinados bioproductos, como restos vegetales para compostaje o estiércol para enmiendas orgánicas.
- Existencia de buenas prácticas exitosas y consolidadas en bioeconomía circular que pueden ampliarse a mayor escala.
- Conocimiento, experiencia, capital humano y capacidad tecnológica en áreas de innovación, sectores y empresas vinculadas con la bioeconomía circular.

- Existencia de políticas transversales que promueven y apoyan la bioeconomía circular.
- Potenciales sinergias entre los sectores y los actores involucrados en la región.
- Desarrollo de instrumentos normativos y de planificación asociadas a aspectos de la bioeconomía circular, así como una firme apuesta política por la bioeconomía, la economía circular y la sostenibilidad.
- Aumento de la concienciación en alimentación sostenible.
- Creciente demanda social de productos sostenibles y atributos de valor en base a la bioeconomía circular en la cadena de valor agroalimentaria.
- Incremento de perfiles profesionales relacionados con la bioeconomía, lo que facilita la implementación y estructuración del modelo.
- Adecuada estructuración de la cadena de valor agroalimentaria en Andalucía.
- Alto nivel de organización del sector de académico en Andalucía, con una adecuada red de infraestructuras científico-tecnológicas en la región.

Por último, se identifican las siguientes **oportunidades** para Andalucía:

- Cambios normativos en la legislación europea, nacional y regional que favorezcan, incentiven e incluso obliguen a la reutilización de subproductos de la cadena de producción.
- Potencial para mejorar y digitalizar operaciones logísticas mediante el uso de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC).
- Desarrollo de bioindustrias y biorrefinerías a pequeña escala en el medio rural andaluz (olivar, frutas, hortalizas, etc.).
- Posibilidad de integración de los gestores de residuos como centros logísticos en la cadena de valor.

- Creciente interés y demanda por parte de la industria en el uso de recursos de origen biológico y subproductos de la bioeconomía circular.
- Potencial de desarrollo de modelos de negocio y oportunidades de mercado en base a estos nuevos productos.
- Creciente interés por una inversión sostenible.
- Dimensión y desarrollo tecnológico del sector público de Andalucía que le permite actuar como incentivador de la demanda, promover la compra pública innovadora y catalizar la acción de las empresas.
- Potencial del perfil del "innovation bróker", fundamental para integrar los AKIS (Agricultural Knowledge and Innovation Systems) en este modelo.
- Enfoque de cooperación bajo el modelo de la cuádruple hélice, favoreciendo una oportunidad de inclusión social y de desarrollo compartido.
- Posibilidad de establecer la bioeconomía como una base de conocimiento y un componente intrínseco de la cultura empresarial andaluza.
- Potencial de aprovechar la legislación existente para catalogar los bioproductos, evitando un enfoque exclusivo en una nueva normativa de residuos.

Este análisis estratégico podría ser de interés para las regiones del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA) en el desarrollo de sus estrategias de bioeconomía circular en sus políticas regionales. De hecho, en la Programación INTERCOONECTA 2022-2023 "La bioeconomía circular como elemento clave de innovación para el desarrollo de la nueva ruralidad a través de la MIPYME rural centroamericana", financiado por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), se están compartiendo estas experiencias y conocimientos por parte de la Junta de Andalucía. En este programa de formación, Andalucía se está tomando como referencia para el desarrollo de políticas y estrategias de bioeconomía, en base a la Estrategia

Andaluz de Bioeconomía Circular y a la reciente Ley de Economía Circular de Andalucía (Cátedra y Sayadi, 2023).

## 5. CONCLUSIONES

Andalucía dispone de un marco normativo favorable para el **desarrollo de la bioeconomía circular de la región** a través de su actual modelo de Estrategia de Bioeconomía Circular y de una serie de estrategias y planes de apoyo complementarios. La recién promulgada Ley de Economía Circular de Andalucía representa un sólido pilar legislativo para impulsar la transición hacia una economía circular de alimentos y bioproductos, estableciendo en primera instancia el marco y los mecanismos de coordinación necesarios para la **implementación de políticas en materia de bioeconomía**.

Con una **amplia gama de sectores económicos y abundantes recursos biomásicos**, derivados de la diversidad de sus cultivos, la región tiene el potencial para implementar y desarrollar eficazmente el modelo de bioeconomía circular. Esta posibilidad se ve reforzada por la presencia de un sólido sector agroindustrial con capacidad para implementar dicho modelo.

El análisis estratégico de la bioeconomía circular revela que **la comunicación es un elemento clave** para involucrar a todos los actores. Es necesario **concienciar y educar a la sociedad** acerca de los beneficios de la bioeconomía circular, la naturaleza de los recursos biomásicos y cómo son transformados en bioproductos y bioenergía aportando valor añadido a la economía de la región.

La participación en iniciativas europeas como el **proyecto ROBIN** permite a Andalucía mantenerse a la vanguardia, incorporando constantemente nuevos retos, desafíos y oportunidades a su modelo de gobernanza actual, y consolidando sus prácticas de sostenibilidad en diversos sectores de actividad.

Además, con el desarrollo del proyecto europeo ROBIN se espera mejorar las condiciones para propiciar las **inversiones empresariales sostenibles en las bioeconomías locales**. Por otro lado, el proyecto servirá para mejorar la huella medioambiental de los productos y servicios de bases biológicas.

Adicionalmente, se pretende mejorar la coordinación interregional en el marco del CCRI, fortaleciendo el nexo ciencia-política de la UE para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

En resumen, la bioeconomía circular se presenta para Andalucía como un **impulsor de crecimiento y una oportunidad para la colaboración** entre todos los actores clave en el desarrollo de este modelo innovador basado en el aprovechamiento óptimo de los recursos biomásicos de Andalucía para generar **competitividad, sostenibilidad y bienestar social**.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este artículo se ha desarrollado en base a los resultados y bajo el enfoque conceptual de los objetivos del proyecto ROBIN (Deploying circular BIOecoNomies at Regional level with a territorial approach), financiado por la Comisión Europea mediante el Grant Agreement no. 101060504, bajo la convocatoria Horizonte Europa.

## REFERENCIAS

- BERBEL, J., & DELGADO, MM. (2017). La economía y la bioeconomía en el sector del olivar y del aceite. En: J.A. Gómez, & M. Parras (Coordinadores). *Economía y comercialización de los aceites de oliva. Factores y perspectivas para el liderazgo español del mercado global* (pp. 397 – 412). Cajamar Caja Rural. Recuperado de: <https://publicacionescajamar.es/wp-content/uploads/2023/03/economia-y-comercializacion.pdf>
- BERBEL, J., BORREGO, M.M., GÓMEZ, J.A., VILLANUEVA, A.J., CÁTEDRA, M., & CAPOTE, C. (2021). Factores habilitantes y limitantes para el éxito de iniciativas de bioeconomía circular en Andalucía. Recuperado de: [https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/2022-01/Informe\\_BEC-Andalucia\\_Publicacion.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/2022-01/Informe_BEC-Andalucia_Publicacion.pdf)
- BERBEL, J. & BORREGO, M.M. (2021). La bioeconomía circular. Recuperado de: <https://economiecircular.org/la-bioeconomia-circular/>
- CÁTEDRA, M. & SAYADI, S. (2023). Programación INTERCOONECTA 2022-2023 "La bioeconomía circular como elemento clave de innovación para el desarrollo de la nueva ruralidad a través de la MIPME rural centroamericana". Curso "Aspectos básicos de la bioeconomía circular". Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID). Recuperado de: <https://intercoonecta.aecid.es/aecid-impulsa-la-recuperacion-economica-de-la-mipyme-rural-a-traves-de-la-bioeconomia-circular>
- COMISIÓN EUROPEA (2012). Estrategia de Bioeconomía. Recuperado de: [https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/environment/bioeconomy/bioeconomy-strategy\\_en](https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/environment/bioeconomy/bioeconomy-strategy_en)
- COMISIÓN EUROPEA (2018). Una nueva estrategia de bioeconomía para una Europa sostenible. Recuperado de: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/edace3e3-e189-11e8-b690-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-149755478>

- CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA (2023). Conclusiones relativas a las oportunidades de la bioeconomía a la luz de los retos actuales, con especial insistencia en las zonas rurales. Recuperado de: <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-8194-2023-INIT/es/pdf>
- EGEA, F.J., LÓPEZ, M.D., OÑA, P., CASTRO, A.J., & GLASS, C.R. (2021). Bioeconomy as a transforming driver of intensive greenhouse horticulture in SE Spain. *New Biotechnology*, 61, 50–56. doi: <https://doi.org/10.1016/J.NBT.2020.11.010>
- JUNTA DE ANDALUCÍA-a (2023). Ley 3/2023, de 30 de marzo, de Economía Circular de Andalucía. Recuperado de: [https://www.juntadeandalucia.es/boja/2023/67/BOJA23-067-00055-6439-01\\_00281478.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/boja/2023/67/BOJA23-067-00055-6439-01_00281478.pdf)
- JUNTA DE ANDALUCÍA-b (2023). Caracterización del sector agrario y pesquero de Andalucía. Serie C-19. Recursos biomásicos de la agricultura y la ganadería, 428-432. Serie C-20. Recursos biomásicos de la agroindustria, 433-443. Recuperado de: <https://online.1stflip.com/dxnb/3lug/>
- JUNTA DE ANDALUCIA-c (2015). Plan Director del Olivar. Recuperado de: <https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/2020-03/Plan%20Director%20del%20Olivar.pdf>
- PROYECTO INTERREG REINWASTE (2021). REmanufacture the food supply chain by testing INNovative solutions for zero inorganic WASTE. Recuperado de: <https://reinwaste.interreg-med.eu/>
- PROYECTO EUROPEO ROBIN (2023). Deploying circular BIOecoNomies at Regional level with a territorial approach. Recuperado de: <https://robin-project.eu/>

SAYADI, S., RODRÍGUEZ, C.R., ROJAS, F., PARRA, C., PARRA, S., GARCÍA, M. DEL C., GARCÍA, R., LORBACH-KELLE, M.B., & MANRIQUE, T. (2019). Inorganic Waste Management in Greenhouse Agriculture in Almeria (SE Spain): Towards a Circular System in Intensive Horticultural Production. *Sustainability*, 11 (14), 3782. doi: <https://doi.org/10.3390/SU11143782>

SAYADI, S., TORRES, J.M., PARRA, S., GARCÍA, M.C., & PARRA, C (2020). Critical point analysis in solid inorganic waste production in the protected cultivation systems in Almeria – approaches to reduce the impact. *ISHS Acta Horticulturae*, 1268, 205-212. doi: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1268.27>

SAYADI, S. (2023). Foro de Bioeconomía Circular, organizado por la Consejería de Agricultura, Pesca, Agua y Desarrollo Rural. Mesa de diálogo: cadena de valor de la bioeconomía. Recuperado de: <https://www.forobioeconomicircular.com/>

VILLANUEVA, A.J., & LA CAL, J.A. (2023). La bioeconomía circular en el olivar: el reto de pasar de la gestión de residuos a la valorización de subproductos. *Mercacei*. Febrero. Recuperado de: <https://www.mercacei.com/noticia/58236/actualidad/bioeconomia-circular-en-el-olivar:-el-reto-de-pasar-de-la-gestion-de-residuos-a-la-valorizacion-de-subproductos.html>





## **MONOGRÁFICO: La confluencia de Bioeconomía Circular, Biorrefinerías y Objetivos de Desarrollo Sostenible en el sector del olivar**

María del Mar Contreras Gámez<sup>1</sup>, Juan Antonio Parrilla<sup>2</sup> y Eulogio Castro Galiano<sup>3</sup>

---

Autor de Correspondencia: [ecastro@ujaen.es](mailto:ecastro@ujaen.es)

---

### **Resumen:**

En este trabajo se revisan los conceptos básicos de Economía Circular, Bioeconomía y Biorrefinerías con un énfasis especial en el sector del olivar. La posibilidad de desarrollo de las biorrefinerías en este campo supone una serie de ventajas que inciden en los aspectos económicos, sociales y ambientales y, por tanto, pueden tener una traslación directa a conseguir los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En este artículo se revisan cuáles son las principales contribuciones de las biorrefinerías basadas en la biomasa del olivar en los ODS, tanto desde el punto de vista industrial como desde el punto de vista de las cooperativas, que representan la gran mayoría de las estructuras productivas del olivar en España. Finalmente, se realiza un análisis de las barreras y oportunidades que pueden afectar a la consecución de los ODS en el ámbito de estudio.

**Palabras clave:** Bioeconomía Circular, Biomasa, Biorrefinería, Olivar, Objetivos de Desarrollo Sostenible.

## **MONOGRAPH: The confluence of Circular Bioeconomy, Biorefineries and Sustainable Development Goals in the olive sector**

María del Mar Contreras Gámez<sup>1</sup>, Juan Antonio Parrilla<sup>2</sup> and Eulogio Castro Galiano<sup>3</sup>

### **Abstract:**

In this work, the basic concepts of Circular Economy, Bioeconomy and Biorefineries are reviewed with a special emphasis on the olive sector. The possibility of developing biorefineries in this field entails a series of advantages that affect economic, social and environmental aspects and, therefore, can have a direct impact on achieving the Sustainable Development Goals (SDGs). This article reviews the main contributions of biorefineries based on olive biomass to the SDGs, both from the industrial point of view and from the point of view of cooperatives, which represent the vast majority of the productive structures in the olive oil sector in Spain. Finally, an analysis is carried out of the barriers and opportunities that may affect the achievement of the SDGs in the area of study.

**Key Words:** Biorefinery, Circular Bioeconomy, Olive biomass, Sustainable Development Goal.

---

<sup>1</sup> Dept. Chemical, Environmental and Materials Engineering and Center for Advanced Studies in Earth Sciences, Energy and Environment (CEACTEMA), Universidad de Jaén, 23071 Jaén (Spain), [mccgamez@ujaen.es](mailto:mccgamez@ujaen.es), ORCID 0000-0002-3407-0088.

<sup>2</sup> Dept. Economics, Universidad de Jaén, 23071 Jaén (Spain), [japarril@ujaen.es](mailto:japarril@ujaen.es); ORCID 0000-0003-3849-8775.

<sup>3</sup> Dept. Chemical, Environmental and Materials Engineering and Center for Advanced Studies in Earth Sciences, Energy and Environment (CEACTEMA), Universidad de Jaén, 23071 Jaén (Spain), [ecastro@ujaen.es](mailto:ecastro@ujaen.es); ORCID 0000-0003-1719-6049.

## 1. INTRODUCTION

According to the United Nations, the Sustainable Development Goals (SDGs) are a call for action by all countries – poor, rich and middle-income – to promote prosperity while protecting the planet. The 17 SDGs provide jointly a roadmap for humanity toward sustainable development.

SDGs can be clustered into three categories dealing with human well-being, sustainability and resources.

The progress to reach those Goals is measured by a relatively complex set of 232 indicators acting on 169 targets. For example, the SDG number 7 is called “Affordable and Clean Energy”. For this goal, 5 targets have been selected, among them “ensure universal access to affordable, reliable and modern energy services by 2030”; this particular target will be monitored through these two indicators: “the proportion of population with access to electricity” “and the proportion of population with primary reliance on clean fuels and technology”. A global indicator could be “renewable energy share in the total final energy consumption”.

During the last few years, a great number of productive sectors have been analyzed to assess their contribution to the achievement of SDGs (Pizzi et al., 2020), but few of them are available in the scientific literature devoted particularly to the olive sector. The present work aims to present the potential contribution of olive tree cultivation, olive oil production process, and management of byproducts and residues to the achievement of SDGs, considering also the usual associated networks of olive oil producers (cooperatives). The relationship among the basic concepts of Circular Economy, Bioeconomy and Biorefineries and their application to the olive sector is also considered.

## 2. BASIC CONCEPTS: CIRCULAR ECONOMY, BIOECONOMY, AND BIOREFINERIES

The **circular economy** is a model of production and consumption, which involves: sharing, leasing, reusing, repairing, refurbishing and recycling existing materials and products as long as possible (European Parliament, 2023). In this way, the life

cycle of products is extended. The European Commission defines the **bioeconomy** as "the production of renewable biological resources and the conversion of these resources and waste streams into value added products, such as food, feed, bio-based products and bioenergy" (European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, 2012).

Taking both concepts, circular economy and bioeconomy, the **circular bioeconomy** focuses on the sustainable, resource-efficient valorization of biomass in integrated, multi-output production chains while also making use of residues and wastes and optimizing the value of biomass over time via cascading.

Summarizing all the definitions collected by Berntsson et al. (2012), the term **biorefinery** refers to a facility or industrial plant that integrates various physical, chemical and/or biological processes to convert biomass into a range of valuable products, including biofuels, chemicals, materials, and energy. The goal of a biorefinery is to maximize the efficient utilization of biomass resources and minimize waste by using a sustainable and environmentally friendly approach. Biorefineries offer diversified manufacturing processes to produce multiple valuable products from biomass to be the cornerstone in this holistic perspective.

Applied to the olive sector, the term biorefinery refers to the evolution of the traditional olive oil mill, where the conventional and unique product (olive oil) gives way to the possibility of obtaining multiple products, through the use of waste generated in the traditional process, such as pits, leaves, pomace, defatted olive pomace and even wastewater, towards a wide range of renewable products, including biofuels, bioenergy and renewable chemicals as well as materials (Romero-García et al., 2014).

Therefore, the concept of a biorefinery in general, and biorefineries based on olive-derived biomass in particular, is aligned with the principles of the circular bioeconomy, aiming to replace or complement traditional petroleum-based industries with sustainable and renewable alternatives, ultimately reducing reliance on fossil fuels and contributing to a more environmentally sustainable and economically viable future.

### 3. EXAMPLES OF CONTRIBUTION OF BIOREFINERIES TO SDGs

Table 1 shows some examples of how biorefineries or bioeconomy in general can contribute to different SDGs through relevant indicators. For example, one of the indicators for SDG number 1, No Poverty, is the "Proportion of population below the international poverty line"; biorefineries in general, but especially small-scale biorefineries (which is the usual case when considering the olive sector) can promote the development of entrepreneurship opportunities to produce incomes and jobs. Or for example, SDG number 6, "Clean water and sanitation" may be impacted because biorefineries can promote an increase in water-use efficiency to produce value-added products through mass integration.

**Table 1.** Examples of contribution of biorefineries to SDGs.

SDG	Indicator	How can biorefineries/ bioeconomy contribute
	1.1.1 Proportion of population below the international poverty line	Small-scale biorefineries can promote the development of entrepreneurship opportunities to produce incomes and jobs
	1.4.1 Proportion of population living in households with access to basic services	Biomass conversion into energy vectors is a promising option to strengthen access to heat and power in rural and urban areas in the future
	2.3.1 Volume of production per labor unit by classes of farming/pastoral/ forestry enterprise size	Bioeconomy can increase the production rates of agricultural products by implementing sustainable agriculture practices (e.g., decrease agrochemicals use)
	2.3.2 Average income of small scale food producers	Small-scale biorefineries are the way to increase the incomes of farmers due to the conversion of non-marketable agricultural products
	2.4.1 Proportion of agricultural area under productive and sustainable agriculture	Agricultural waste and agroindustrial waste valorization can increase the agricultural area to produce more income for farmers. Moreover, sustainable agriculture can be applied to decrease the use of agrochemicals
	6.4.1 Change in water-use efficiency over time	Biorefineries can promote an increase in water-use efficiency to produce value-added products through mass integration. Moreover, these facilities can be designed considering water cycles

SDG	Indicator	How can biorefineries/ bioeconomy contribute
	7.1.2 Proportion of the population with primary reliance on clean fuels and technology 7.2.1 Renewable energy share in the total final energy consumption	Biomass resources are generated all over the world to sustain biorefineries, which can provide biofuels and bioenergy using biomass as input
	9.3.1 Proportion of small-scale industries in total industry value-added	Small-scale processing of biomass sources can promote local employment and improve the socio-economic conditions of a rural zone through the commercialization of value-added products
	12.6.1 Number of companies publishing sustainability reports	Biorefineries can be associated with the industrial sector to valorize the by-products and wastes generated in the different production stages. The essence of biorefineries is to upgrade the raw material with a view towards sustainability

#### 4. AGROINDUSTRIAL OLIVE BIORESOURCES

The production of olive oil involves the generation of different types of biomasses, both during the cultivation of olive trees and also during the production process of olive oil. First, olive trees are pruned yearly, generating a great amount of biomass. Olives, together with leaves that fall from trees and collected during harvesting, are taken to the olive mills, where leaves are separated and olives are washed, also generating a residual stream of wastewater that is taken to an aerial pond. Then, olives are crushed, and mixed and then olive oil is separated in the decanter, producing an oil stream, and separating the olive pomace.

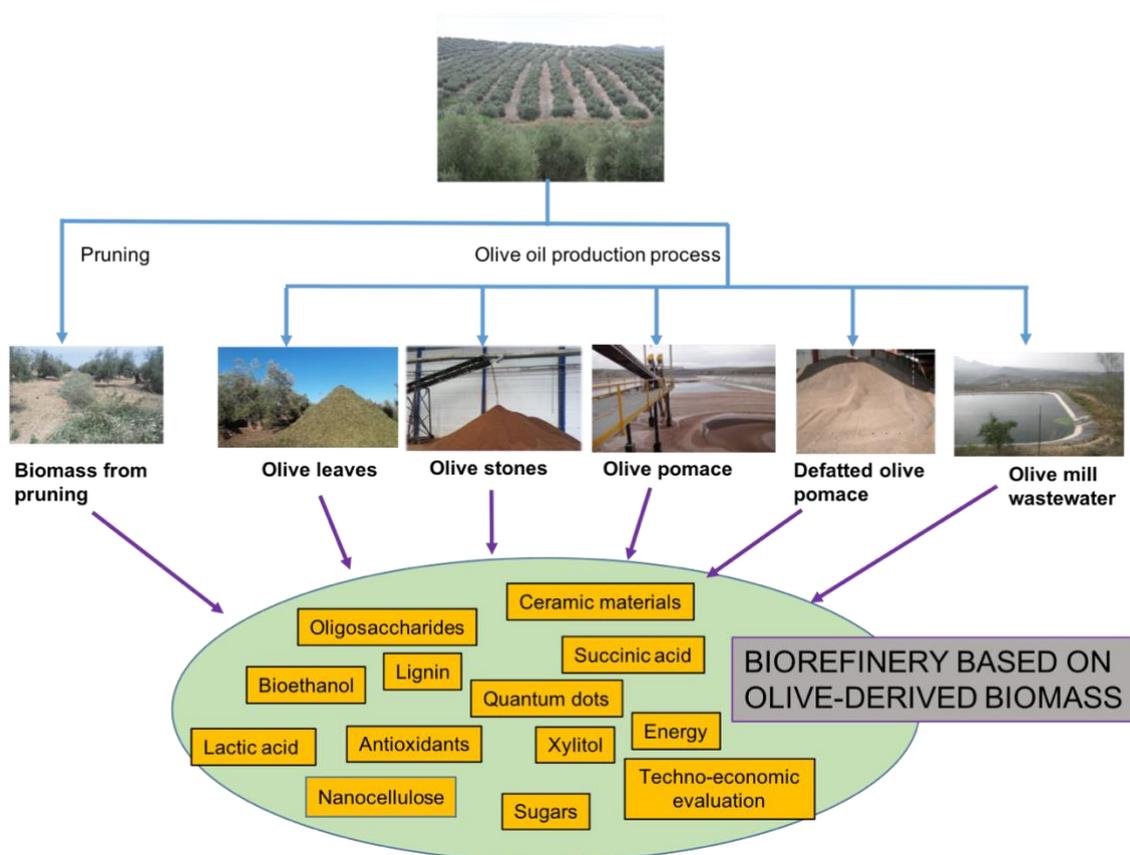
Olive pomace is sent for recovery of the residual oil; first, crushed olive stones are separated, while the remaining pomace is dried and extracted, producing the olive pomace oil and the defatted (or exhausted) olive pomace dry residue.

The olive oil that was separated in the decanter is washed with water, also generating an additional wastewater stream, to finally obtain the virgin olive oil.

In summary, there are several kinds of bioresources available for biorefining, which are found in two different locations: the cultivation fields and the olive mills. First, in the fields, we find the biomass from pruning; and then, in the mills, we have

leaves, pits, the olive pomace, the residues of olive pomace after being extracted, and the wastewater generated.

As depicted in Figure 1, the University of Jaén is performing intense research on how to produce a wide range of products from all kinds of olive-derived biomass, including bioethanol, natural antioxidants, nanocellulose, oligosaccharides or ceramic materials, among others, in what we call the biorefinery based on olive biomass. Some contributions in reviews include the portfolio of bioproducts which can be obtained from olive biomasses and examples of biorefinery processes using these biomasses as raw materials (Contreras et al, 2020; Galán-Martín et al., 2022; Gómez-Cruz et al., 2023; Ruiz et al., 2017).



**Figure 1.** Basic scheme of the different types of olive biomass and main products obtained under the biorefinery approach.

After this introduction, we will call olive-based biorefineries to those industrial facilities that generate two or more bio-based products through sustainable cascading processing of olive biomass, and particularly, their portfolio will include bioenergy and/or biofuels.

## 5. POTENTIAL CONTRIBUTIONS OF OLIVE-BASED BIOREFINERIES TO SDGs

### 5.1 SDG-Indicators

The relationship existing between biorefineries, circular bioeconomy and the SDGs was recently reviewed by Solarte-Toro et al. (2021); in this article, the technical requirements, challenges, and perspectives of biomass are assessed. This analysis, initially applied to general biorefineries, can be particularized for the case of olive-derived biorefineries, as shown in Table 2.

Starting from the SDG number 1, no poverty, two main indicators are (1) the Proportion of population below the international poverty line and (2) the Proportion of population living in households with access to basic services. Biorefineries or bioeconomy, in general, can contribute respectively to achieving this SDG because small-scale biorefineries can promote the development of entrepreneurship opportunities to produce incomes and jobs, and Biomass conversion into energy vectors is a promising option to strengthen access to heat and power in rural and urban areas in the future.

When it comes to biorefineries that use olive biomass, they can provide job opportunities in biomass supply, logistics and conversion processes. Additionally, external heat and power consumption can be reduced by olive biomass conversion. These two facts can contribute to reducing poverty in this context.

**Table 2.** Potential contributions of olive-based biorefineries to SDGs achievement.

SDG	Indicator	How can olive-based biorefineries contribute
	1.1.1 Proportion of population below the international poverty line	Olive-based biorefineries may be a source of employment in biomass supply, logistics and conversion processes
	1.4.1 Proportion of population living in households with access to basic services	External heat and power consumption can be reduced by olive biomass conversion
	2.3.1 Volume of production per labor unit by classes of farming/pastoral/forestry enterprise size	A fraction of olive pruning biomass is grinded and left in the cultivation fields as an organic amendment
	2.3.2 Average income of small scale food producers	Incomes from pruning sale of biomass or crushed pits are expected from the biorefinery deployment

SDG	Indicator	How can olive-based biorefineries contribute
	2.4.1 Proportion of agricultural area under productive and sustainable agriculture	Several practices, such as crushing olive tree pruning biomass and spreading in the cultivation fields can contribute to sustainable agriculture
	6.4.1 Change in water-use efficiency over time	Water recovery systems from wastewater aerial ponds and reduction of water consumption in the olive oil production process are two ways of improving water efficiency in the olive oil sector  Water integration in olive-based biorefineries will be crucial
	7.1.1 and 7.1.2 Proportion of population with access to electricity and Proportion of population with primary reliance on clean fuels and technology	Renewable energy from olive-derived biomass can be produced under different schemes/products: bioethanol, biogas, electricity, and renewable chemicals
	9.3.1 Proportion of small-scale industries in total industry value-added	A big proportion of olive oil mills are small-scale processing of biomass facilities, which can promote local employment and improve the socio-economic conditions of a rural zone through the commercialization of value-added products

Moving on to SDG 2, No Hunger, Table 2 summarizes that the implementation of sustainable agriculture practices and the increase of incomes of farmers are two ways to move towards the attainment of this SDG. In the case of olive-derived biorefineries, the usual practice of leaving a portion of olive pruning biomass in the fields as an organic amendment can contribute to the sustainability of the cultivation; moreover, farmers can expect an increase in their income by selling biomass or olive pits that are widely used as biofuels.

As a last example from Table 2, one of the most relevant SDG related to the biorefineries based on olive biomass, is SDG #7, Renewable Energy, because energy is probably the most direct application of biomass; moreover, in addition to heat, a number of indirect products related to energy can be produced from olive pits or olive pruning biomass, among other raw materials; these products include bioethanol, biogas or electricity.

In conclusion, many of the olive-derived biomass biorefineries can have an impact and contribute to achieve most of SDGs, as can be summarized in a brief sentence, Table 3.

**Table 3.** Potential effects of olive-based biorefineries in achieving selected SDGs

SDG	Effect from olive-biorefineries
1 No poverty	Job creation in collection, transport, conversion of biomass materials. Income increase by selling of pruning biomass, olive pits or leaves
2 Zero hunger	Increased food production can be derived from the use of composting or organic amendment with olive residues
5 Gender equality	Half of olive groves are owned by women
6 Clean Water	Water use improvement and reuse
7 Affordable and Clean Energy	Electricity and heat can be obtained from renewable olive-derived residues
8 Decent Work and Economic Growth	New ways of valorization of olive-derived biomass will result in economic growth in rural areas
9 Industry, Innovation, and Infrastructure	Machinery adaptation, process development, product separation and so on will lead to innovations in industry and technological development
11 Sustainable Cities	Renewable energy and renewable biobased products will lead to more sustainable communities
12 Responsible Consumption and Production	Olive biomass valorization can be a driver for the sustainability of olive oil production to reach targets like the sustainable management and efficient use of natural resources and the reduction of waste generation
13 Climate Action	Environmental issues and climate action are tightly connected to olive derived biomass collection and transformation, representing an alternative more environmental friendly disposal method

## 5.2 The impact of cooperativism in the olive oil sector on SDGs

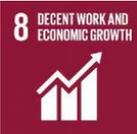
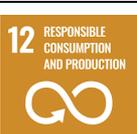
The studies and discussion around the SDGs have had an increasing impact in recent years, both in terms of research on the SDGs and its influence in companies (Pizzi et al. 2020). In this regard, studies focusing on the role of the sustainable development goals and olive oil cooperatives companies, indicate that olive cooperatives are social economy enterprises or entities, which base their decisions and management on the farmers who make up these enterprises. This is a model of shared management that influences the welfare and sustainability of the territory, considering that in the olive oil sector in Spain, cooperative firms accounts for 66% of the total olive oil production, which indicates that this management model implies the development of the Spanish olive oil industry in its majority (Mozas-Moral, 2019; Parrilla and Ortega, 2022).

Olive-growing cooperatives are increasingly using management models based on social innovation, focusing on the development of innovative strategies to generate added value among farmers. These social innovations include the management of diversifying activities, such as tourism (olive oil tourism), the efficient management of waste or by-products such as olive pits, pomace, or the optimisation of water resources (Sánchez-Martínez et. al., 2020).

Similarly, the size of these companies means that sustainability and equality plans are implemented, which orients personnel and employment generation policies towards the fulfilment of SDGs. Also, the attraction of talent and the commitment of these industries to more innovative technologies such as Smart olive oil mill or olive oil mill 4.0, generate a more efficient use of resources in the industry and increase the productivity of these industries. The implementation of the SDGs in these entities (Table 4) implies the transition from systems focused almost exclusively on production and distribution to new paradigms whose objectives include environmental, nutritional, and ethical objectives (Antonelli et. al, 2020).

**Table 4.** Contribution of olive oil cooperative companies to the SDGs achievement

SDG	SDG Description	Impact on olive oil cooperatives
	<p><b>Zero Hunger.</b> The food and agriculture sector offers key solutions for development, and is central for hunger and poverty eradication</p>	<p>Olive oil cooperatives can manage production of more olive oil as foodstuffs</p>
	<p><b>Good Health and Well-Being.</b> Ensuring healthy lives and promoting the well-being for all at all ages is essential to sustainable development</p>	<p>Production of sustainable and healthy foods such as olive oil</p>
	<p><b>Quality Education.</b> Obtaining a quality education is the foundation to improving people's lives and sustainable development</p>	<p>Olive oil cooperatives promote a compulsory education and promotion fund in their annual accountability</p>
	<p><b>Gender Equality.</b> Gender equality is not only a fundamental human right, but a necessary foundation for a peaceful, prosperous and sustainable world</p>	<p>Olive oil cooperatives fight against depopulation, ageing and the gender gap by promoting generational change and sustainability and gender equality plans</p>

SDG	SDG Description	Impact on olive oil cooperatives
	<i>Affordable and Clean Energy.</i> Energy is central to nearly every major challenge and opportunity	Olive oil cooperatives develop clean energy, promotion of integrated production agriculture and green covers
	<i>Decent Work and Economic Growth.</i> Sustainable economic growth will require societies to create the conditions that allow people to have quality jobs	Olive cooperatives facilitate territorial development, local employment and the development of global markets thanks to their cooperative dimension
	<i>Industry, Innovation, and Infrastructure.</i> Investments in infrastructure are crucial to achieving sustainable development	Olive cooperatives develop large infrastructures that require a high level of innovation to compete in global markets
	<i>Responsible Consumption and Production.</i> Promote a responsible consumption in consumers	Olive oil cooperatives promote the consumption of sustainable, ecological and healthy agriculture through the development of environmentally friendly early harvest oils and extra virgin olive oils
	<i>Climate Action.</i> Climate change is a global challenge that affects everyone, everywhere	Olive cooperatives develop programs against climate change and the use of water waste and its recycling, as well as the circular economy
	<i>Life on Land.</i> Sustainably manage forests, combat desertification, halt and reverse land degradation, halt biodiversity loss	Olive oil cooperatives slow down the deterioration of the vegetation cover and help to preserve the culture, society, economy and green ecosystems in the territory
	<i>Partnerships.</i> Revitalize the global partnership for sustainable development	Olive oil cooperatives maintain an important stakeholders policy

## 6. BARRIERS AND OPPORTUNITIES

There are some barriers that hinder the development of biorefineries based on olive biomass, and there are also some opportunities. Table 5 presents the corresponding SWOT matrix, where the main points of weakness, strengths, opportunities, and threats are summarized.

**Table 5.** SWOT matrix associated with the development of olive based-biorefineries

<b>WEAKNESS</b>	<b>THREATS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Small and scattered farms</li> <li>• Seasonality of the resource</li> <li>• Need to adapt machinery for collection.</li> <li>• High transport cost, depending on the distance.</li> <li>• Need for development of conversion technologies.</li> <li>• Lack of organization for biomass exploitation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Competition from other renewable resources</li> <li>• Large uncertainties around costs and environmental impacts.</li> <li>• Lack of support instruments for the production, transformation, and use of biomass</li> </ul>
<b>STRENGTHS</b>	<b>OPPORTUNITIES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Growing social support for sustainable initiatives</li> <li>• Growing importance of renewable energies in energy policies</li> <li>• Contribution to environmental sustainability in energy production (reduction of CO<sub>2</sub> emissions,</li> <li>• Creation of jobs, direct and indirect, and diversification of income for the rural population</li> <li>• Long-term economic advantages in home heating due to cheaper prices of biomass compared to fossil fuels</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energy needs in rural areas.</li> <li>• Possibility of using the biomass mixed with other energy or environmentally recoverable products.</li> <li>• Possibility of use in cogeneration, for thermal uses and electricity production</li> <li>• The policies of the European Union and many other countries recognize the need to support and promote the bioenergy sector.</li> <li>• Role of biorefineries coupled with carbon capture and storage to provide carbon dioxide removal and reach carbon neutrality.</li> </ul>

Jointly, future biorefineries in our region should be developed taking into account the integral use of olive biomass feedstock, to meet circular bioeconomy, making full use of their availability and considering seasonality. It should ensure market opportunities for bioproducts, considering both demands and competition with their counterparts. As an advantage, biorefineries based on olive biomass are of the second generation; as not compete with food uses, they help mitigate concerns about diverting food resources for biofuel production and face energy demand, while reducing the competition for arable compared to first-generation biorefineries based on corn or sugarcane.

According to Arias et al. (2023), one of the main bottlenecks in the development of a biorefinery scheme is the technical and economic feasibility, the integration of mass and energy flows, together with the optimization of resource use. For example, cogeneration could be a technology to promote thermal use and electricity production efficiently. Although it can increase capital costs, it may enhance the sustainability of the biorefinery (Hernández et al., 2014), a goal to reach sustainable development. Although there are obstacles along the way,

research and innovation on biorefinery will promote the best scenarios to balance sustainability, circularity, economic viability, and energy efficiency, key aspects to contribute and comply with the SDGs.

The potential to integrate the biorefinery process with carbon capture and storage technology can further enhance global decarbonization efforts, even potentially achieving carbon-negative emissions (Galán-Martín et al., 2022). Improvement and innovation in catalysts, enzymes, and microorganisms with higher capacity and application may favour more efficient, sustainable, and economical bioprocesses in the biorefinery (Igbokwe et al., 2022).

Arias and coworkers (2023) conclude that biorefineries need government support, policies, and market share with regulations and sustainable brand certification to increase market opportunities compared to the product's counterparts. These could be instruments for the change. In the case of Spain, there have been developed specific instruments (regulations, plans, etc.) for the Circular Economy and the Bioeconomy, which can be key in terms of the reduction and valorisation of olive biomass (Duque Acebedo et al., 2022) and envisioning SDGs targets. In this line, projects like ATRESBIO aimed at promoting value chains to obtain bioproducts derived from biomass, in this case, olive biomass generated in Andalusia was one of the targets (ATRESBIO, 2023). There are some instruments, but investment and competitiveness will be crucial to promoting and diversifying sustainable biorefineries able to bring a wide range of chemicals, energetic products, etc. to reach SDGs. Other important issue is that olive oil cooperatives and other local industries are pillar to promote olive-based biorefineries. These new multiproduct-industries should fulfil the industrial necessities (energy/electricity, waste management, new income for farmers, sustainability, etc.) of the others. Adequate divulgation and knowledge transfer and innovation activities in its territorial environment could be crucial success to join forces of all involved actors. An example could be the BioRefine Denmark, expected to produce protein, along with other biobased-products, for satisfying feed requirement of farming industries, which were promoters of the project (NIRAS, 2023).

## **7. CONCLUSIONS**

Biorefineries have a crucial role as industrial facilitators to promote circularity and sustainability in the agroindustrial sector, such as in the olive oil production chain and associated industrial tissue. Bio-based production in biorefinery based on olive biomass may help fulfil SDGs targets (e.g., contributing to SDGs numbers 1, 5, 7, 8, 9, 11, 12, and 13) and there are indicators to measure the performance. Nevertheless, technical and economic limitations must be overcome, along with other weaknesses and threats. In this scenario, not only researchers but also Government, investors, cooperatives, and citizens should be practitioners in the transition from a linear and fossil-fuel-based economy to a circular bioeconomy based on bioresources, like olive biomass.

## REFERENCES

- ANTONELLI, A., BRUNORI, G., JAWHAR, J., PETRUZZELLA, D., & ROMA, R. (2020). Innovation ecosystems for youth agrifood entrepreneurship in the Mediterranean region. *New Medit: Mediterranean journal of economics, agriculture and environment*, 19(4), 99-115.
- ARIAS, A., FEJOO, G., & MOREIRA, M. T. (2023). Biorefineries as a driver for sustainability: Key aspects, actual development and future prospects. *Journal of Cleaner Production*, 418, 137925.
- ATRESBIO (2023). Recovered from: <https://atresbio.corporaciontecnologica.com/en/the-project/>
- BERNTSSON, T., SANDÉN, B. A., OLSSON, L., & ÅSBLAD, A. (2012). What is a biorefinery? In B. Sandén & K. Pettersson (Eds.), *Foraging and farming: the evolution of plant exploitation* (pp. 11–26). *Systems Perspectives on Biorefineries* (16-25). Göteborg: Chalmers.
- CONTRERAS, M. D. M., ROMERO, I., MOYA, M., & CASTRO, E. (2020). Olive-derived biomass as a renewable source of value-added products. *Process Biochemistry*, 97, 43-56.
- DUQUE-ACEVEDO, M., BELMONTE-URENA, L. J., BATLLES-DELAFUENTE, A., & CAMACHO-FERRE, F. (2022). Management of agricultural waste biomass: a case study of fruit and vegetable producer organizations in southeast Spain. *Journal of Cleaner Production*, 359, 131972.
- EUROPEAN COMMISSION, DIRECTORATE-GENERAL FOR RESEARCH AND INNOVATION (2012). *Innovating for sustainable growth – A bioeconomy for Europe*. Recovered from: <https://data.europa.eu/doi/10.2777/6462>
- EUROPEAN PARLIAMENT (2023). *Circular economy: definition, importance and benefits*. Recovered from: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/economy/20151201STO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits>.

- GALAN-MARTIN, A., CONTRERAS, M. D. M, ROMERO, I., RUIZ, E., BUENO-RODRÍGUEZ, S., ELICHE-QUESADA, D., & CASTRO-GALIANO, E. (2022). The potential role of olive groves to deliver carbon dioxide removal in a carbon-neutral Europe: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 165, 112609.
- GÓMEZ-CRUZ, I., CONTRERAS, M. D. M., ROMERO, I., & CASTRO, E. (2023). Towards the integral valorization of olive pomace-derived biomasses through biorefinery strategies. *ChemBioEng Reviews*. In Press.
- HERNÁNDEZ, V., ROMERO-GARCÍA, J. M., DÁVILA, J. A., CASTRO, E., & CARDONA, C. A. (2014). Techno-economic and environmental assessment of an olive stone based biorefinery. *Resources, Conservation and Recycling*, 92, 145-150.
- IGBOKWE, V. C., EZUGWORIE, F. N., ONWOSI, C. O., ALIYU, G. O., & OBI, C. J. (2022). Biochemical biorefinery: A low-cost and non-waste concept for promoting sustainable circular bioeconomy. *Journal of Environmental Management*, 305, 114333.
- MOZAS-MORAL, A. (2019). Contribución de las cooperativas agrarias al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible: especial referencia al sector oleícola. Centro Internacional de Investigación e Información sobre la Economía Pública, Social y Cooperativa CIRIEC: España.
- NIRAS (2023). Gamechanger: Grass protein could revolutionise the farming industry. Recoved from: <https://www.niras.com/news/grass-could-revolutionise-the-farming-industry/>
- PARRILLA, J. A., & ORTEGA, D. (2022). Sustainable Development Goals in the Andalusian olive oil cooperative sector: Heritage, innovation, gender perspective and sustainability. *New medit: Mediterranean journal of economics, agriculture and environment* 21 (2), 31-42.

- PIZZI, S., CAPUTO, A., CORVINO, A., & VENTURELLI, A. (2020). Management research and the UN sustainable development goals (SDGs): A bibliometric investigation and systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 124033.
- ROMERO-GARCÍA, J.M., NIÑO, L., MARTÍNEZ-PATIÑO, C., ÁLVAREZ, C., CASTRO, E., NEGRO, M.J. (2014). Biorefinery based on olive biomass. State of the art and future trends. *Bioresource Technology* 159, 421-432.
- RUIZ, E., ROMERO-GARCÍA, J. M., ROMERO, I., MANZANARES, P., NEGRO, M. J., & CASTRO, E. (2017). Olive-derived biomass as a source of energy and chemicals. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 11(6), 1077-1094.
- SOLARTE-TORO, J. C., & ALZATE, C. A. C. (2021). Biorefineries as the base for accomplishing the sustainable development goals (SDGs) and the transition to bioeconomy: Technical aspects, challenges and perspectives. *Bioresource Technology*, 340, 125626.
- SÁNCHEZ-MARTÍNEZ, J.D., RODRÍGUEZ-COHARD, J.C., GARRIDO-ALMONACID, A., GALLEGOSIMÓN, V.J. (2020). Social Innovation in Rural Areas? The Case of Andalusian Olive Oil Co-Operatives. *Sustainability* 12, 10019.





## **Caso de estudio de economía circular: el desarrollo de un nuevo bioestimulante fisiológico a partir de sub-productos del olivar**

Joaquín Romero<sup>1</sup>, María Peñas-Corte<sup>2</sup>, Juan Nieto<sup>3</sup> y José R. Fernández-Navarro<sup>4</sup>

---

Autor de Correspondencia: jrfernandez@econatur.net

---

### **Resumen:**

El cultivo del olivo (*Olea europaea*) es un motor socioeconómico en la cuenca mediterránea, con una notable expansión en los últimos años. Sus residuos representan una oportunidad para la transición a la bioeconomía. Los grandes volúmenes de agua empleados poseen una alta carga orgánica, con polifenoles como el hidroxitirosol (HT). Mediante nuevos procesos tecnológicos, ha sido posible su extracción y purificación y, por tanto, su empleo en diferentes industrias, como la agroalimentaria. Las propiedades antioxidantes y complejantes de los polifenoles, con incidencia en el equilibrio hormonal de los cultivos, le confieren un gran potencial de uso como insumos agrícolas. Como resultado se ha formulado e-OLIVE, un bioestimulante que i) apoya la eliminación de especies reactivas oxígeno (ROS) en situaciones de estrés hídrico y ii) actúa sobre el equilibrio hormonal del cultivo. En condiciones naturales, e-OLIVE ha incrementado la producción a través de una menor caída fisiológica y un superior peso de frutos, además de incrementar el rendimiento graso. Estos resultados se han alcanzado mediante una superior traslocación de nutrientes y la expresión de hormonas y reguladores hormonales como AIA, AS y ABA.

**Palabras clave:** bioestimulación, polifenoles, extracción, producción, rendimiento graso.

## **Circular economy case study: the development of a new physiological biostimulant from olive by-products**

Joaquín Romero<sup>1</sup>, María Peñas-Corte<sup>2</sup>, Juan Nieto<sup>3</sup> and José R. Fernández-Navarro<sup>4</sup>

### **Abstract:**

Olive (*Olea europaea*) crop is a socio-economic driving force in the Mediterranean basin, with a notable expansion in recent years. Its waste represents an opportunity for the transition to a bioeconomy. The large volumes of water used have a high organic load, with polyphenols such as hydroxytyrosol (HT). New technological processes have made possible to extract and purify polyphenols, and thus to use them in different industries, such as the agri-food industry. The antioxidant and complexing properties of polyphenols, which have an impact on the hormonal balance of crops, give them a great potential for use as agricultural inputs. As a result, e-OLIVE has been formulated, a biostimulant that i) supports the elimination of reactive oxygen species (ROS) in situations of water stress and ii) acts on the hormonal balance of the crop. Under natural conditions, e-OLIVE has increased yield through less physiological drop and higher fruit weight, as well as increased fat yield. These results have been achieved through superior nutrient translocation and expression of hormones and hormone regulators such as AIA, AS and ABA.

**Key Words:** biostimulation, polyphenols, extraction, production, fat yield, fat production.

---

<sup>1</sup> BIOPHARMA RESEARCH (GRUPO ECONATUR). Córdoba (España). jromero@econatur.net; 0000-0002-6355-5084.

<sup>2</sup> BIOPHARMA RESEARCH (GRUPO ECONATUR). Córdoba (España). mpenas@econatur.net;

<sup>3</sup> LABORATORIOS ECONATUR, SL. Córdoba (España). jnieto@econatur.net;

<sup>4</sup> BIOPHARMA RESEARCH (GRUPO ECONATUR). Córdoba (España). jrfernandez@econatur.net

## 1. INTRODUCCIÓN

El olivo (*Olea europaea*) es uno de los cultivos mediterráneos de mayor importancia, habiendo sido domesticado durante miles de años (Besnard et al., 2018). España es el mayor exportador de aceite de oliva, con una superficie de olivar de 2,8 millones de hectáreas (MAPA, 2023). En Andalucía es el principal cultivo, con 1,65 millones de hectáreas (40% de superficie agraria útil) y una producción que supone más del 30% del valor de la producción vegetal andaluza, con la obtención de una cuarta parte de la producción mundial de aceite de oliva virgen (Polonio et al., 2022). Estos datos se han alcanzado a través de un incremento de superficie y de intensificación del cultivo durante las últimas décadas, que ha derivado en un incremento de subproductos en fase agrícola e industrial que apenas ha sido rentabilizado (Berbel & Posadillo, 2018, Polonio et al., 2022). Estos residuos representan una oportunidad de aplicación de los principios de bioeconomía circular (Borrego-Marín et al., 2021), aportando una segunda vida a subproductos biológicos que ponen en riesgo el entorno medioambiental y que muestran una composición bioquímica de interés agrícola.

### 1.1 Oportunidades de bioeconomía circular asociada al cultivo del olivo

El uso de desechos del olivar para la elaboración de otros productos puede contribuir a la generación de nuevas cadenas de valor y con ello establecer oportunidades para el desarrollo económico y la cohesión territorial del medio rural, suponiendo una estrategia de retorno económico a cooperativas y agricultores. La evaluación del flujo de materias primas y subproductos que se producen como resultado de los usos existentes constituye la base de conocimiento que puede permitir mejorar aún más la eficiencia del modelo de utilización en cascada actual, en el que todavía existen opciones para la obtención de nuevos bioproductos de alto valor añadido a partir de estos subproductos. Este proceso productivo se caracteriza por generar grandes volúmenes de agua con alta carga orgánica que incluye fenoles, ácidos grasos y gran contenido de sólidos en suspensión.

En las industrias de aderezo de aceitunas de mesa, la principal fuente de contaminación ambiental es producida por los vertidos de efluentes líquidos,

como en la mayoría de las industrias agroalimentarias (El-Abbassi et al., 2014). Resultan grandes volúmenes con un contenido de materia orgánica poco biodegradable, con pH frecuentemente extremo y grasas y sólidos en suspensión. Además, constan de un alto contenido salino y se encuentran fuertemente coloreadas por los polifenoles que forman parte de los frutos. Desde el punto de vista económico, estas aguas procedentes de la industria de aderezo son una fuente valiosa de moléculas que incluyen nutrientes vegetales, antocianinas, flavonoides, polisacáridos y varios compuestos fenólicos, pero estos últimos siendo difíciles de degradar y que poseen carácter fitotóxico en un alto volumen de agua (Segovia-Bravo et al., 2007, Tuna & Akpiar-bayiziti, 2009). Sin embargo, a su favor y en concentraciones controladas, poseen posibles aplicaciones industriales como fertilizantes, antioxidantes, antifúngicos y fármacos antibacterianos, agentes citoprotectores, gelificantes, reguladores del crecimiento de las plantas y quelantes de iones metálicos, etc. (Bujor et al., 2015). Algunos polifenoles, como el hidroxitirosol (HT) tienen un gran valor añadido en las industrias farmacéutica, agroalimentaria y cosmética (De Marco et al., 2007), por lo que un análisis detallado en la recuperación del mismo favorecería a estos sectores.

## **2. MÉTODO/DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA DE INNOVACIÓN**

### **2.1 Componentes fenólicos de interés en el cultivo del olivo**

Los compuestos fenólicos se encuentran en todos los órganos de las plantas y, en base a su estructura, tienen diferentes funciones (Mojzer et al., 2016). La distribución de estos compuestos a nivel tisular y celular no es homogénea. Por lo general, los compuestos fenólicos totalmente insolubles se encuentran en las paredes celulares, mientras que los de naturaleza poco soluble se encuentran en las vacuolas (Tanase et al., 2019). Con incidencia en el metabolismo secundario de las plantas por inhibición de la peroxidación lipídica, los fenoles son también esenciales para el crecimiento, desarrollo y reproducción de las plantas (Tanase et al., 2019).

La oleuropeína es el fenol presente en mayor proporción en las aceitunas, que junto con otros compuestos polifenólicos puede ser hidrolizado a lo largo de un proceso de fermentación, originando tirosol y HT, con altas características

antioxidantes (Cornwell et al., 2008; Peyrol et al., 2015). El HT es un polifenol anfipático que se encuentra en hojas y frutos, tanto de forma libre como ligada, así como en el aceite de oliva y subproductos de la fabricación del aceite de oliva (Silva et al., 2020). Se considera una de las moléculas bioactivas con mayor capacidad antioxidante y con las propiedades más potentes de eliminación de especies reactivas de oxígeno (ROS) in vivo e in vitro (Bermúdez-Oria et al., 2020). Yanguí et al. (2011) observaron, mediante la actividad DPPH (i.e. método del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidracilo, Guija-Poma et al., 2015) cómo la aplicación exógena de HT en semillas de tomate estimuló el desarrollo posterior de las plántulas, además de apoyar una sobreexpresión del contenido polifenólico en el cultivo hasta 20 días después y una mayor actividad antioxidante. Esta fue debida a una actividad superior de determinadas enzimas, como la G6PDH (glucosa-6-glucosa-6-fosfato deshidrogenasa), GPX (guayacol peroxidasa) y CAT (catalasa). Los resultados de este estudio coinciden con los obtenidos por García-Sánchez et al. (2012), en los que se encontró actividad frente a valores de ROS elevados, en respuesta (bajo estrés oxidativo inducido) al tratamiento con un extracto acuoso biorremediador procedente del residuo seco de almazara, que contiene compuestos fenólicos, entre los que se encuentra el HT. Esta actividad antioxidante se asoció con la actividad de SOD (superóxido dismutasa), GR (glutación reductasa) y GST (Glutación S transferasa), encargadas de la eliminación de niveles altos de  $O_2$  y  $H_2O_2$ .

Otros estudios han demostrado que los bioestimulantes vegetales basados en subproductos del olivo, si se aplican a bajas concentraciones, son capaces de desencadenar eficazmente respuestas metabólicas y fisiológicas positivas en las plantas (Drobek et al., 2019; Sciubba et al., 2020). De esta forma, podemos concluir que el hidroxitirosol aplicado de forma exógena permite un incremento positivo de la respuesta a la oxidación que se produce de forma natural en las plantas.

## **2.2 Antecedentes de éxito: extractos botánicos mediante tecnología ept®**

BIOPHARMA RESEARCH, perteneciente al grupo ECONATUR, es una empresa de biotecnología agrícola que promueve un modelo de agricultura sostenible y de alto valor añadido para el agricultor. Localizada en La Carlota (Córdoba, España), ECONATUR formula y comercializa insumos basados en la química

natural, con la sostenibilidad medioambiental y la producción y rentabilidad agrícola como objetivos de necesario cumplimiento. Fruto de esta filosofía, ECONATUR ha desarrollado una tecnología propia de extracción de principios activos con una alta capacidad bioestimulante, incidiendo en el metabolismo primario y secundario de los cultivos. La tecnología ept® (econatur polyphenol technology®), patentada por ECONATUR, obtiene unos componentes naturales y con gran bioactividad procedentes de subproductos de la actividad agrícola.

La tecnología ept® es la base de los bioestimulantes de ECONATUR, consiguiendo una elevada concentración de ácidos hidroxibenzoicos. Estos componentes destacan por una alta capacidad antioxidante a través de la activación enzimática de SOD, GR (Glutathion Reductase) y APX (Ascorbate Peroxidase) (Tadeo & Gómez-Cadenas, 2013). Por esta vía se facilita la eliminación de las ROS, causantes de una evidente clorosis y necrosis de tejidos vegetales, síntomas del envejecimiento y muerte celular (Quero, 2022). Las ROS, entre las que se encuentra el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y los radicales superóxido ( $O_2^-$ ) se producen en cloroplastos, mitocondrias y peroxisomas. Su sobreacumulación provoca daños celulares irreversibles a través de la destrucción de ácidos nucleicos, proteínas y lípidos elementales (Faroq et al., 2019; Sharma et al., 2019). Gracias a la elicitación enzimática para la eliminación de las ROS, la planta puede destinar su energía al desempeño de sus principales funciones fisiológicas (e.g. la fase sexual, caracterizada por la fructificación) en lugar del sistema de defensa antioxidante en situaciones de estrés. Los ácidos hidroxibenzoicos son acompañados por otros polifenoles, precursores de fitoalexinas para la promoción de respuestas de Resistencia Sistémica Adquirida (RSA) ante situaciones de estrés biótico, y por polialcoholes responsables de la movilización vascular de nutrientes y el incremento del flujo sistémico en la planta. Como balance, todas estas actividades repercuten en una superior expresión de hormonas claves en los cultivos, como el ácido indol-acético (AIA) y el ácido salicílico (AS). Estas hormonas vegetales son las responsables de múltiples tareas fisiológicas del metabolismo primario y secundario. AIA, también denominada auxina (del griego: hacer crecer, incrementar) fue la primera hormona descubierta, y está implicada en múltiples procesos de desarrollo vegetativo (Acosta-Echeverría et al., 2013). Por su parte, el AS transmite la señal

de infección por patógenos mediante una ruta de proteínas que contribuyen a la resistencia del cultivo (Tadeo & Gómez-Cadenas, 2013).

### **2.3 Bioestimulación en cultivos leñosos bajo el contexto de cambio climático**

Las plantas son organismos sésiles, que no pueden evadir las condiciones adversas en las que viven. Consecuentemente, deben adaptar continuamente su crecimiento y metabolismo a las condiciones cambiantes del ambiente. La variabilidad ambiental puede deberse a factores bióticos (como plagas y enfermedades) y/o a factores abióticos, como sequía, salinidad, déficit nutricional, exceso de metales pesados o temperaturas extremas. La plantación de cultivos leñosos supone una alta inversión con una expectativa de retorno a largo plazo, siendo vital la correcta implantación y óptimo desarrollo productivo de la plantación en el entorno edafoclimático en el que se encuentra.

Ante un escenario futuro de elevación de temperaturas y escasez de lluvias, con precipitaciones esporádicas y torrenciales que dificultan su aprovechamiento, las situaciones de estrés hídrico y climático podrán verse acentuadas (Rius, 2022). Incluso cultivos con importantes adaptaciones morfológicas y fisiológicas frente al estrés hídrico, como el olivo, se ven afectados en etapas sensibles como la floración, cuajado y acumulación de aceites (Pierantozzi et al., 2013), además de en aspectos claves de la producción en futuros años (i.e. desarrollo de brotes y número de flores del año siguiente, Barranco et al., 2017).

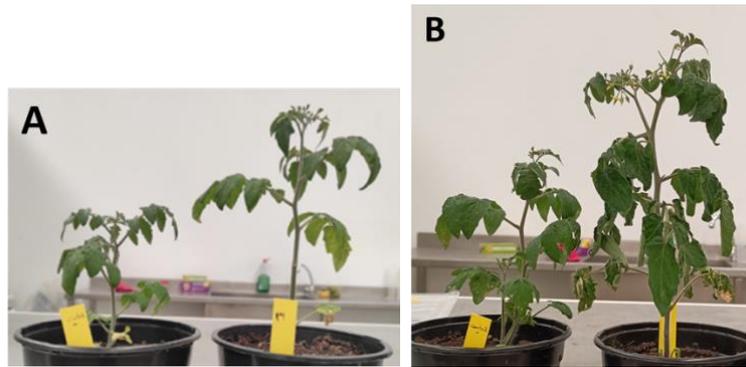
Los bioestimulantes, por tanto, pueden representar una herramienta de apoyo en la gestión de cultivos leñosos en situaciones de estrés térmico y salino. El mercado de los bioestimulantes muestra una tasa de crecimiento anual del 11,2%, con un pronóstico de mercado de alrededor de 5 billones de dólares en 2025 (García-Morales et al., 2021). Para su adecuación al uso en cultivos leñosos en un contexto de cambio climático, es trascendental que el modo de acción del bioestimulante incida en los daños causados por el estrés térmico y salino. Para ello, el óptimo balance hormonal y la lucha contra la acumulación de las ROS es clave para maximizar la capacidad productiva en un entorno agronómico adverso. En base a estos preceptos, se estudió la integración de la tecnología ept® junto a las propiedades antioxidantes del HT para obtener una formulación bioestimulante, denominada e-OLIVE. Este producto fue evaluado

en condiciones controladas y naturales para determinar su eficacia agronómica y su modo de acción por actividad enzimática y hormonal.

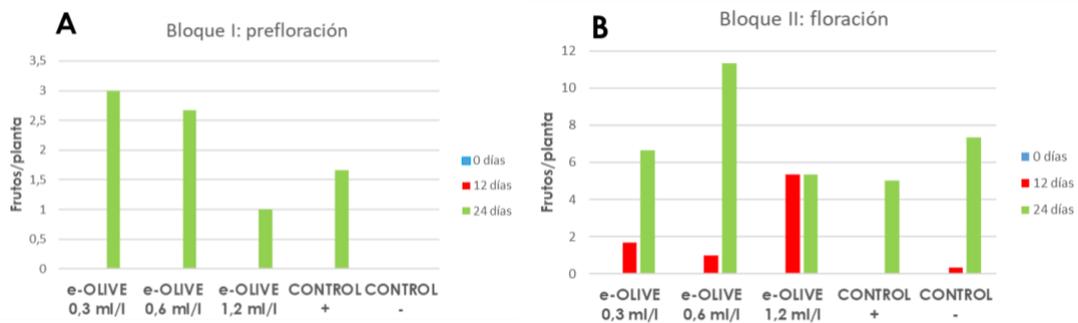
### 3. RESULTADOS

El efecto de e-OLIVE sobre tomate (var. Micro-tom) fue evaluado a diferentes dosis en cámara de cultivo (ARALAB, con temperatura de 25°C y fotoperiodo 16/8). Las plantas fueron mantenidas con una solución nutritiva, con turba como sustrato y aplicando un riego deficitario. Fue empleado un bioestimulante comercial, a base de aminoácidos y ampliamente empleado en cultivos hortícolas y leñosos, como control positivo. Las aplicaciones foliares de e-OLIVE se realizaron con diluciones de 0,3, 0,6 y 1,2 ml/l, empleándose la dosis recomendada en el control positivo (3 g/l) y la pulverización de agua como control negativo. El ensayo constó de dos bloques de plantas de tomate (en estado de desarrollo vegetativo y en inicio de floración), con cuatro repeticiones por bloque y tratamiento. Se realizaron dos aplicaciones foliares de los tratamientos evaluados, con 12 días entre ellas. Las evaluaciones, realizadas a los 0, 12 y 24 días de inicio del experimento, consistieron en el conteo de flores y frutos y la determinación del estrés oxidativo a través de la determinación de las ROS a nivel foliar (Herzog & Fahimi, 1973).

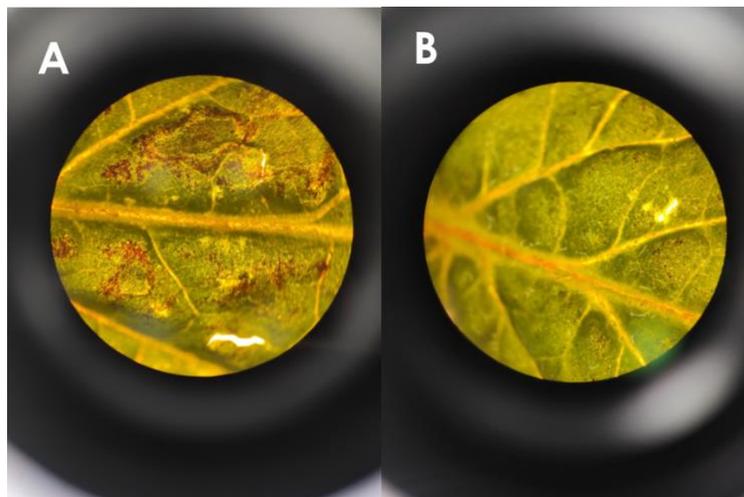
El desarrollo vegetativo fue notablemente superior en los dos bloques de plantas (Fig. 1). El número de frutos fue notablemente superior respecto a los tratamientos Control, particularmente a las dos dosis inferiores (Fig. 2). Estos resultados están relacionados con la menor acumulación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> observada en los tejidos foliares (Fig. 3).



**Figura 1.** Desarrollo vegetativo en el bloque I (A) y II (B) de e-OLIVE (derecha) respecto al control negativo (izquierda). **Fuente:** Elaboración propia



**Figura 2.** Desarrollo de frutos (tomate) por planta en los bloques I (A) y II (B). **Fuente:** Elaboración propia

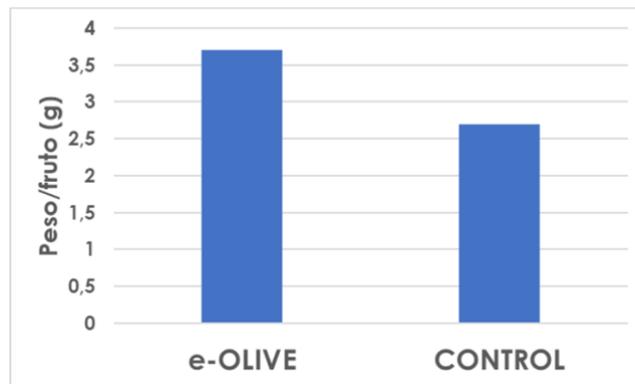


**Figura 3.** Acumulación de peróxido de hidrógeno (especies reactivas de oxígeno) en tejidos sometidos a estrés hídrico en el tratamiento Control (A) y e-OLIVE (B). **Fuente:** Elaboración propia

### 3.2. Eficacia agronómica: olivo y almendro como caso de estudio

Durante las campañas 2021 y 2022 se realizaron ensayos en condiciones naturales sobre olivar (cv. Hojiblanca, años 2021 y 2022) y almendro (cv. Lauranne, 2022) con riego deficitario. Fue evaluada la acción de e-OLIVE en diferentes fechas de aplicación, añadiendo el producto a los insumos ya empleados en el manejo habitual de la finca (Control). En el caso de emplearse productos bioestimulantes, estos fueron eliminados del área de tratamiento con e-OLIVE.

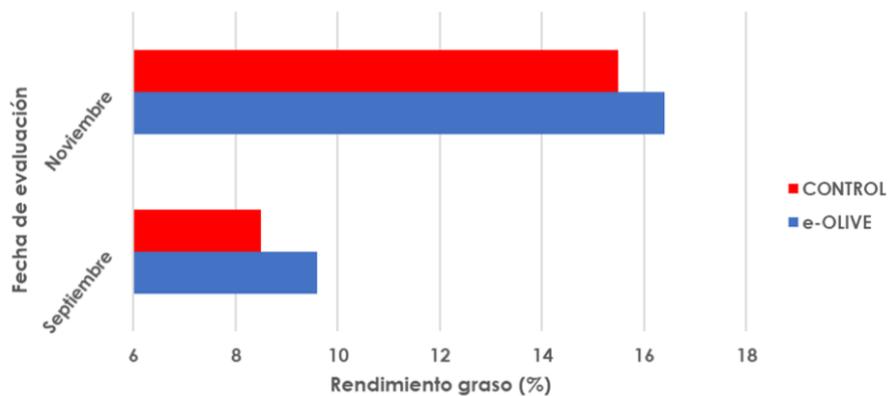
Los ensayos en olivar se situaron en Villanueva de Algaidas (Málaga, España), sobre una plantación adulta (25 años) en un marco de plantación de 8x6 m, con aplicaciones a un volumen de caldo de 1000 l/ha. En 2021, con la aceituna destinada a verdeo, se realizaron dos aplicaciones con inclusión de e-OLIVE (0,75 ml/l) en BBCH 71-75. En esta campaña, se observó un incremento productivo del 36,9% al elevar el peso de los frutos de 2,7 a 3,7 g/fruto (Fig. 4). En 2022 (e.g. un año con unas condiciones más severas de estrés hídrico), los ensayos fueron ampliados al destinar el fruto a producción de aceite. En este caso se realizaron tres aplicaciones (BBCH-71-80). Se realizaron análisis foliares en julio y septiembre, con incrementos positivos de todos los macro y micronutrientes con el tratamiento de e-OLIVE en la segunda fecha de análisis (BBCH 85). En este sentido, destacó el incremento de concentración de K (+31,6%), Ca (29,6%), Mg (40,4%), Fe (13,7%) y Cu (12,5%). También en septiembre, se observó una incidencia de arrugamiento un 91,4% inferior en la muestra de frutos procedente del área de aplicación de e-OLIVE (Fig. 5), además de una elevación de rendimiento graso superior a 1 punto (Fig. 6) En fecha de cosecha (noviembre, BBCH 89) se mantuvo ese incremento próximo a un punto añadido de rendimiento graso (Fig. 6). En este caso, el peso de los frutos se mantuvo constante debido al superior número de frutos presentes (mayor carga) en el área de aplicación de e-OLIVE debido a un menor arrugamiento y, finalmente, inferior caída fisiológica.



**Figura 4.** Peso medio de aceitunas con la estrategia de bioestimulación fisiológica (e-OLIVE) respecto al Control. **Fuente:** Elaboración propia



**Figura 5.** Aspecto visual de aceitunas tras un período estival de altas temperaturas y estrés hídrico. **Fuente:** Elaboración propia

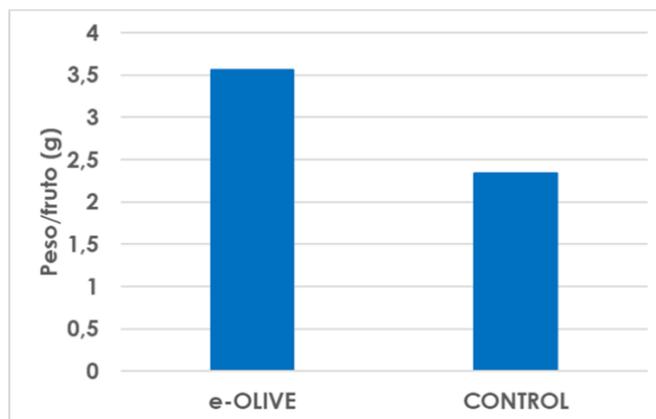


**Figura 6.** Rendimiento graso obtenido en Septiembre y Noviembre con la estrategia de bioestimulación fisiológica (e-OLIVE) respecto al Control. **Fuente:** Elaboración propia

En las plantaciones de almendro, localizadas en La Rambla (Córdoba, España), el trabajo se experimental se realizó sobre una plantación joven aún sin entrar en producción (3 años) y en una plantación adulta (10 años), en ambos casos con un marco de plantación de 7x6 m. Con volúmenes de caldo aplicados de 750 y 1000 l/ha, respectivamente, se empleó una dilución de e-OLIVE de 0,75 ml/l en dos aplicaciones (BBCH 72-81). Solamente se realizó el análisis foliar de julio (BBCH-84), puesto que la cosecha (BBCH-90) se realizó a finales de agosto. En la plantación joven se observaron valores superiores en 8 de los 10 macro y micronutrientes analizados. Destacó el incremento de Cu (+131,5%), que pudo estar relacionado con la menor incidencia observada de mancha ocre (causada por *Polystigma amygdalinum*) en el área tratada con e-OLIVE. En la parcela adulta se observaron menos diferencias a nivel nutricional, solo destacando el incremento significativo de P (+21,6%). Sin embargo, a nivel productivo se observó un notable adelanto fenológico, con una apertura del exocarpo notablemente superior, que permitía la extracción de la almendra (Fig. 7). Esta impresión se vio complementada por un superior peso de la almendra, elevándose un 52,4% con el uso de e-OLIVE (Fig. 8).



**Figura 7.** Apertura del exocarpo en área de aplicación de e-OLIVE respecto al Control, obteniendo un estadio fenológico más avanzado. **Fuente:** Elaboración propia



**Figura 8.** Peso medio de la almendra con la estrategia de bioestimulación fisiológica (e-OLIVE) respecto al Control. **Fuente:** Elaboración propia

#### 4. DISCUSIÓN / CONCLUSIONES

En el presente trabajo se citan las bases científicas de desarrollo de un bioestimulante circular a partir del uso de dos tecnologías propias de extracción (tecnología ept® y tecnología extractiva de HT), con una demostrada eficacia en cultivos leñosos. A partir de revalorizar subproductos del olivo, se ha obtenido un formulado altamente antioxidante que proporciona una actividad fisiológica clave en un contexto de cambio climático. De este modo, se han observado incrementos productivos en situaciones de estrés térmico e hídrico en condiciones de altas temperaturas (e.g. ensayos en las provincias de Córdoba y Málaga).

Se ha observado un efecto complejante de nutrientes. En este sentido, hay referencias a la acción quelante de diferentes polifenoles sobre minerales, entre ellos el HT (Tanase et al., 2019). Para la salud humana, el HT ha sido reportado como complejante del Fe, disminuyendo la aparición de las ROS derivadas de reacciones asociadas con este metal (Karim-Ruiz, 2016). A su vez, el HT puede estar implicado en la reducción de  $Fe^{3+}$  a  $Fe^{2+}$ , forma más asimilable sin coste energético para la planta (Andjelkovic et al., 2006). Las plantas dicotiledóneas y monocotiledóneas no gramíneas excretan agentes reductores (como compuestos fenólicos) para la obtención de hierro asimilable. A este respecto, existen diferentes teorías sobre la forma de reducción del hierro por parte de ácidos polifenólicos (Stevenson, 1994). Respecto a otros nutrientes, la concentración notablemente superior de diferentes nutrientes tiene un impacto en situaciones de estrés hídrico y térmico. El magnesio es clave en situaciones

de alta radiación para evitar la clorosis y aparición de las ROS (Bonilla, 2013). El potasio y el calcio están implicados en la regulación de apertura estomática y rigidez de membranas para regular el flujo hídrico y las quemaduras solares. Ambos elementos favorecen la división celular en situaciones de desarrollo de frutos (Bonilla, 2013). Estos factores nutricionales, junto a la activación enzimática para la eliminación de las ROS, son elementos clave en la eficacia de e-OLIVE a través de su composición polifenólica. Sin embargo, el balance hormonal del cultivo puede estar implicado en los resultados obtenidos. En este sentido, el ácido abscísico (ABA) ha llegado a ser observado en una concentración 2,5 veces superior en ensayos internos de desarrollo de producto con aplicación de e-OLIVE (Fernández-Navarro, no publicado). El ABA es un regulador hormonal que apoya a la retención de agua durante períodos secos mediante el control del cierre estomático, limitando la pérdida por evapotranspiración. Su aplicación exógena suele ser menos eficaz que la propia concentración inducida, posiblemente porque no se dirige indiscriminadamente a todos los receptores de ABA (Yang et al., 2019; Lozano-Juste et al., 2023). Futuras investigaciones se llevarán a cabo para conocer los factores implicados en la regulación del ABA y en la activación de mecanismos de defensa frente a ataques de origen biótico, que podría estar relacionado con la generación de fitoalexinas por activación de la ruta de AS y por la propia eliminación de las ROS (Quero, 2022; Tadeo & Gómez-Cadenas, 2013).

## **AGRADECIMIENTOS**

Parte de los ensayos presentados en este artículo se han desarrollado en el marco del proyecto FOOD4STROKE, "Desarrollo de alimentos con efecto neuroprotector para fomentar un envejecimiento activo de la sociedad", financiado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico y la Innovación dentro del Programa Estratégico de Consorcios de Investigación Empresarial Nacional (CIEN).

Los ensayos de campo se han realizado en colaboración con DCOOP S. C. A.

## REFERENCIAS

- ACOSTA-ECHEVERRÍA, M., SÁNCHEZ-BRAVO, J., BAÑÓN-ARNAO, M. (2013). Auxinas. En J. Azcón-Bieto, j., & M. Talón (Eds.), *Fundamentos de Fisiología Vegetal* (pp. 377-398). McGraw-Hill-INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.L.
- ANDJELKOVIC, M., VAN CAMP, J., DE MEULENAER, B., DEPAEMELAERE, G., SOCACIU, C., VERLOO, M. AND VERHE, R. (2006) Iron-Chelation Properties of Phenolic Acids Bearing Catechol and Galloyl Groups. *Food Chemistry*, 98, 23-31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.044>
- BARRANCO, D., FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R., RALLO, L. (2017). *El cultivo del olivo*. Madrid. Mundi-Prensa
- BERBEL, J., & POSADILLO, A. (2018). Review and analysis of alternatives for the valorisation of agro-industrial olive oil by-products. *Sustainability*, 10(1),237. doi: <https://doi.org/10.3390/su10010237>.
- BERMÚDEZ-ORIA, A., BOUCHAL, Y., FERNÁNDEZ-PRIOR, Á., VIOQUE, B., FERNÁNDEZ-BOLAÑOS, J. (2020). Strawberry Puree Functionalized with Natural Hydroxytyrosol: Effects on Vitamin C and Antioxidant Activity. *Molecules*. 10:5829.
- BESNARD, G., TERRAL, J. F., CORNILLE, A. (2018). On the Origins and Domestication of the Olive: A Review and Perspectives. *Annals of Botany*. 121, 385–403. doi: <https://doi.org/10.1093/aob/mcy002>
- BONILLA, I (2013). Introducción a la nutrición mineral de las plantas. Los elementos minerales. En J. Azcón-Bieto, j., & M. Talón (Eds.), *Fundamentos de Fisiología Vegetal* (pp. 103-121). McGraw-Hill-INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.L.
- BORREGO-MARÍN, M.M., BERBEL, J., GÓMEZ-LIMÓN, J.A., VILLANUEVA, A.J. (2021). Factores habilitantes y limitantes para el desarrollo empresarial de la Bioeconomía Circular. Análisis empírico para el caso de Andalucía. *International Journal of Circular and Sustainable Bioeconomy*. 2, 19–36. doi: <https://doi.org/10.21071/c3b.vi2>

- BUJOR, O.C., TALMACIU, A., POPA, V.I. (2015). Biorefining to recover aromatic compounds with biological properties. *TAPPI Journal*. 14, 187–193.
- CORNWELL, G. D., & MA, J. (2008). Nutritional benefits of olive oil: The biological effects of hydroxytyrosol and its arylating quinone adducts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 8774–8786
- DE MARCO, E., SAVARESE, M., PADUANO, A., SACCHI, R. (2007). Characterization and fractionation of phenolic compounds. *Food Chemistry*, 104, 858-867.
- DROBEK, M., FRAÇ, M., CYBULSKA, J. (2019). Plant Biostimulants: Importance of the Quality and Yield of Horticultural Crops and the Improvement of Plant Tolerance to Abiotic Stress—A Review. *Agronomy*. 9: 335
- EL-ABBASSI, A., KIAI, H., RAITI, J., HAFIDI, A. (2014). Cloud point extraction of phenolic compounds from pretreated olive mill wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2, 1480-1486. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.06.024>
- FAROQ, M.A., NIAZI, A.K., AKHTAR, J., FAROOQ, M., SOURI, Z., KARIMI, N., RENGEL, Z. (2013). Acquiring control: The evolution of ROS-Induced oxidative stress and redox signaling pathways in plant stress responses. *Plant Physiology and Biochemistry*. 141, 353-369. doi: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.04.039>.
- GARCÍA-MORALES, S., GARCÍA-GAYTÁN, V., LEÓN-MORALES, J. M. (2021). Current Overview of Agricultural Biostimulants. *Tópicos de Herramientas Biotecnológicas para el Desarrollo Agrícola*, 14.
- GARCÍA-SÁNCHEZ, M., GARRIDO, I., CASIMIRO, I. DE J., CASERO, P. J., ESPINOSA, F., GARCÍA-ROMERA, I., ARANDA, E (2012). Defence response of tomato seedlings to oxidative stress induced by phenolic compounds from dry olive mill residue. *Chemosphere*. 89: 708–716
- GUIJA-POMA, E., INOCENTE-CAMONES, M.A., PONCE-PARDO, J., ZARZOSA-NORABUENA, E. (2015). Evaluación de la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo

- (DPPH) para determinar capacidad antioxidante. *Horizonte Médico*. 15, 57-60.
- HERZOG, V., FAHIMI, H.D. (1973). A new sensitive colorimetric assay for peroxidase using 3,3'-diaminobenzidine as hydrogen donor. *Analytical Biochemistry*. 55, 554-562. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(73\)90144-9](https://doi.org/10.1016/0003-2697(73)90144-9)
- KARIM-RUIZ, M.A. (2016). Efecto de hidroxitirosol sobre algunos biomarcadores cardiovasculares en la Diabetes Mellitus experimental. Málaga. Tesis Doctoral.
- MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación) (2023). Aceite de oliva. Recuperado de: <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/aceite-oliva-y-aceituna-mesa/aceite.aspx> (consultado el 12 de junio de 2023).
- MOJZER, E.B., HRNCIC, M.K., SKERGET, M., KNEZ, Z., BREN, U. (2016). Polyphenols: extraction methods, antioxidative action, bioavailability and anticarcinogenic effects. *Molecules*. 21: 901–939.
- PEYROL, J., MEYER, G., DESROIS, M., BERNARD, M., OBERT, P., DANGLES, O., PECHERE, L., AMIOT-CARLIN, M.J., RIVA, C. (2015). Effect of polyphenols of olive oil, hydroxytyrosol and its glucuronides on the vascular reactivity in a type 2 diabetes context. *Archives of Cardiovascular Diseases Supplements*. 7, 137-138.
- PIERANTOZZI, P., TORRES, M., BODOIRA, R., MAESTRI, D (2013). Water relations, biochemical – physiological and yield responses of olive trees (*Olea europaea* L. cvs. Arbequina and Manzanilla) under drought stress during the pre-flowering and flowering period. *Agricultural Water Management*. 125, 13-25. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.04.003>
- POLONIO, D., VILLANUEVA, A.J., GÓMEZ-LIMÓN, J.A. (2022). Cuantificación de los recursos biomásicos del sector oleícola en Andalucía: una aproximación actualizada. *International Journal of Circular and*

*Sustainable Bioeconomy*. 3, 7–34. doi:  
<https://doi.org/10.1093/aob/mcy002>

RIUS, X. (2022). Aspectos del cambio climático en olivar. *Fruticultura*. 85: 58-71.

QUERO, M. (2022). *Efectos de bioestimulantes sobre el Sistema antioxidante de Solanum lycopersium cv. Micro-tom*. Universidad de Sevilla.

SCIUBBA, F., CHRONOPOULOU, L., PIZZICHINI, D., LIONETTI, V., FONTANA, C., AROMOLO, R., SOCCIARELLI, S., GAMBELLI, L., BARTOLACCI, B., FINOTTI, E., BENEDETTI, A., MICCHELI, A., NERI, U., PALOCCI, C., BELLINCAMPI, D. (2020). *Olive Mill Wastes: A Source of Bioactive Molecules for Plant Growth and Protection against Pathogens*. *Biology*. 9: 450.

SEGOVIA-BRAVO, K.A., GARCÍA-GARCÍA, A., LÓPEZ-LÓPEZ, A., GARRIDO-FERNÁNDEZ, A. (2011). Characterization of polyphenol oxidase from the Manzanilla cultivar (*Olea europaea pomiformis*) and prevention of browning reactions in bruised olive fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55, 6515-6520. doi: <http://dx.doi.org/10.1021/jf063675f>

SHARMA, A.K., SINGH, H., CHAKRAPANI, H. (2019). Photocontrolled endogenous reactive oxygen species (ROS) generation. *Chemical Communications*. 55, 5259-5262. doi: <https://doi.org/10.1039/C9CC01747J>

SILVA, A.F.R., RESENDE, D., MONTEIRO, M., COIMBRA, M.A., SILVA, A.M.S., CARDOSO, S.M. (2020). Application of Hydroxytyrosol in the Functional Foods Field: From Ingredient to Dietary Supplements. *Antioxidants*. 9, 1246

STEVENSON, F. J. (1994). *Humus chemistry: Genesis, composition, reactions*. New York. Wiley and Sons.

TADEO, F.R., & GOMEZ-CADENAS, A. (2013). Fisiología de las plantas y el estrés. En J. Azcón-Bieto, j., & M. Talón (Eds.), *Fundamentos de Fisiología Vegetal* (pp. 577-598). McGraw-Hill-INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.L.

TANASE, C., BUJOR, O.-C., POPA, V. I. (2019). Phenolic Natural Compounds and Their Influence on Physiological Processes in Plants. *Polyphenols in Plants*, 2019; 45–58.

- TUNA, S., AKPINAR-BAYZIT, A. (2009). The use of B-Glucosidase enzyme in black table olives fermentation. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Clujnapoca*. 37, 182-189. doi: <https://doi.org/10.15835/nbha3723145>
- LOZANO-JUSTE, J, ET AL. (2023). Structure-guided engineering of a receptor-agonist pair for inducible activation of the ABA adaptive response to drought. *Science*. 9: DOI: 10.1126/sciadv.ade9948
- YANG, Z., ET AL. (2019). Abscisic Acid Receptors and Coreceptors Modulate Plant Water Use Efficiency and Water Productivity. *Plant Physiology*. 180, 1066-1080
- YANGUI, T., SAYADI, S., CHAKROUN, H., & DHOUB, A (2011). Effect of hydroxytyrosol-rich preparations on phenolic-linked antioxidant activity of seeds. *Engineering in Life Sciences*. 11, 511-516



## Setas para una agricultura sostenible – el concepto MUSA

Carlos Martín<sup>1</sup>, Shaojun Xiong<sup>2</sup>, Volkmar Passoth<sup>3</sup>, Kadri Põldmaa<sup>4</sup>, Svein Ø. Solberg<sup>5</sup>, Malin Hultberg<sup>6</sup>, Knut O. Strætkvern<sup>1</sup>, Oksana Golovko<sup>7</sup>, Francesca Pilotto<sup>8</sup>, Bettina Müller<sup>3</sup>, Mari Pent<sup>4</sup>, Sarah J. Klausen<sup>1</sup> y Luis A. Romero-Soto<sup>1</sup>

---

Autor de Correspondencia: carlos.medina@inn.no

---

### Resumen:

El proyecto **MUSA** – **MU**shrooms for **S**ustainable **A**griculture [Setas para una Agricultura Sostenible] es un esfuerzo para utilizar procesos basados en setas comestibles con el fin de mejorar la sostenibilidad de la agricultura en los países nórdicos y bálticos. El proyecto abarca tanto la producción de esporocarpos de hongos comestibles como el aprovechamiento del sustrato agotado resultante del cultivo de dichos hongos. Se investiga el uso de residuos de la agricultura nórdica y flujos subutilizados del manejo forestal, así como subproductos del procesamiento de la madera como sustrato para la producción de los hongos comestibles shiitake (*Lentinula edodes*) y pleuroto ostra (*Pleurotus* spp.). El proyecto explora el potencial del sustrato agotado de setas (SMS por sus siglas en inglés) para su uso en apoyo a la producción de alimentos. Se evalúa el potencial del SMS como fuente de compuestos bioactivos y de azúcares. Además, **MUSA** investiga el uso de los hidrolizados de SMS como fuente de carbono para la producción de aceite microbiano de calidad alimentaria cultivando levaduras oleaginosas. También se evalúa el uso del SMS para sustituir fertilizantes minerales y proporcionar soluciones de biorremediación de aguas residuales.

**Palabras clave:** Setas comestibles, sustrato agotado del cultivo de setas, biorefinería, agricultura sostenible.

## Mushrooms for enhanced agriculture sustainability – the MUSA concept

Carlos Martín<sup>1</sup>, Shaojun Xiong<sup>2</sup>, Volkmar Passoth<sup>3</sup>, Kadri Põldmaa<sup>4</sup>, Svein Ø. Solberg<sup>5</sup>, Malin Hultberg<sup>6</sup>, Knut O. Strætkvern<sup>1</sup>, Oksana Golovko<sup>7</sup>, Francesca Pilotto<sup>8</sup>, Bettina Müller<sup>3</sup>, Mari Pent<sup>4</sup>, Sarah J. Klausen<sup>1</sup> and Luis A. Romero-Soto<sup>1</sup>

### Abstract:

The project **MUSA** – **MU**shrooms for **S**ustainable **A**griculture is an effort to use mushroom-based processes to enhance agriculture sustainability in Nordic and Baltic countries. The project covers both the production of fruitbodies of edible fungi and the upgrading of the exhausted substrate from mushroom cultivation. The suitability of residues generated locally for producing edible mushrooms is investigated. Residues from Nordic agriculture and sub-utilized streams from forestry management, as well as wood processing by-products, are evaluated as the substrate base for producing shiitake (*Lentinula edodes*) and oyster (*Pleurotus* spp.) mushrooms. The project explores

---

<sup>1</sup> Department of Biotechnology, Inland Norway University of Applied Sciences, 2317 Hamar, Norway; ORCID 0000-0002-4258-0512

<sup>2</sup> Department of Forest Biomaterials and Technology, Swedish University of Agricultural Sciences, 901 83 Umeå, Sweden

<sup>3</sup> Department of Molecular Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, 750 07 Uppsala, Sweden

<sup>4</sup> Department of Botany, Institute of Ecology and Earth Sciences, University of Tartu, 50409 Tartu, Estonia

<sup>5</sup> Department of Agricultural Sciences, Inland Norway University of Applied Sciences, Blæstad campus, Norway

<sup>6</sup> Department of Biosystems and Technology, Swedish University of Agricultural Sciences, 230 53 Alnarp, Sweden

<sup>7</sup> Department of Aquatic Sciences and Assessment, Swedish University of Agricultural Sciences, 750 07, Uppsala, Sweden

<sup>8</sup> Norwegian Institute for Nature Research, Oslo, Norway

the potential of spent mushroom substrate (SMS) to support food production. SMS prospective as source of bioactive compounds and sugars is evaluated. **MUSA** investigates the suitability of SMS hydrolysates as carbon sources for cultivating oleaginous yeast to produce microbial oil suitable for human consumption. Using SMS for substituting mineral fertilizers and providing wastewater bioremediation solutions is also assessed.

**Key Words:** Mushroom, spent mushroom substrate, biorefinery, sustainable agriculture.

## 1. INTRODUCTION

The generation of crop residues, e.g., straws of wheat or barley, is continuously increasing as a result of the expansion of the agricultural production necessary to support global population growth. Correctly managing the generated residues poses significant challenges (Carvalho et al., 2017). Crop residues are extensively considered as wastes. Although the environmental impact of disposing agricultural wastes has not been as mediatic as the discussion on impacts of industrial and vehicular emissions, burning crop residues has a major contribution to air pollution in many countries. Therefore, the economical use of crop residues within new recycling models is crucial for agriculture sustainability (Donner et al., 2021). Using agricultural residues as raw materials for bioconversion processes in biorefineries is a valid alternative considering their availability, low cost, and renewable nature (Martín, 2021; Passoth and Sandgren, 2019).

Mushrooms are the macroscopically visible reproductive structures of fungi; many are edible. Mushrooms grow well on plant biomass, including crop wastes and underutilized wood residues, such as remnants of early thinning of young forests and sawdust from the sawmilling industry. Edible mushrooms are protein-rich food sources that can partially substitute meat, whose production has a significant climate impact (Lynch and Pierreumbert, 2019). Furthermore, edible mushrooms are rich in vitamins, minerals, and other health-promoting ingredients beneficial for human nutrition and wellbeing (Carrasco-González et al., 2017). They exert health benefits associated with their immunomodulatory, antibacterial, cytostatic, and antioxidant properties.

Unlike regular agriculture, which is season-dependent, mushroom production can be performed throughout the year independently of the climatic conditions. Mushroom cultivation is mainly an indoor activity carried out under controlled

conditions, resulting in a highly efficient continuous-flow process. The land area required for growing mushrooms, which is operated as vertical cultivation, is remarkably lower than that required in traditional agriculture. Therefore, mushroom cultivation is a way of diversifying agricultural activities, allowing the farmers to keep the production cycle during the long winter of the Nordic region and to ensure continuous income year around.

The mushroom industry is dynamic, but a few species dominate the world market. *Lentinula edodes* (shiitake) and *Pleurotus* spp. (oyster mushrooms) are among the main edible mushrooms commercialized globally (Royse et al., 2017). Due to the combined food, medicinal, and nutraceutical values of shiitake and oyster mushrooms, their popularity has been pushed forward in Europe. Anyway, the annual production of shiitake and oyster mushrooms in Europe, around 55 000 and 10 500 tons, respectively, is still a minor fraction of the 1.2 MT produced globally (European Mushroom Growers' Group, 2022). Most of European production is concentrated in the south and center of the continent, while in the Nordic countries the production is unsatisfactorily low. For example, in Sweden the champignon, shiitake, and oyster mushroom market relies heavily on imports (Svenska Svampodlarföreningen, 2022).

## 2. SPENT MUSHROOM SUBSTRATE – PROBLEM AND OPPORTUNITIES

A problem associated with mushroom cultivation is handling the large amount of waste left after harvesting the fungal fruitbodies. Around 3-5 kg of "spent" substrate is generated per kg of produced mushrooms (Zisopoulos et al., 2016). That material, known as "Spent Mushroom Substrate" (SMS), is a residual substrate unsuitable for continuing another cultivation cycle due to the depletion of nutrients. SMS accumulation is a major environmental concern because of the emission of greenhouse gases from spontaneous anaerobic digestion, offensive odors, and runoff drainage ending at water sources (Xiong, personal communication). Furthermore, SMS disposal is an economic problem due to the transport costs because of its high moisture content and low bulk density.

However, SMS should be considered a promising source of valuable products and starting material for several uses rather than valueless waste (Leong et al.,

2022). Recent publications show that SMS is a potential source of feed, food, bioactive compounds, biofuels, and enzymes, and it can be used as a biofertilizer, soil amendment, bioremediation agent, and several other uses (Martín et al., 2023). Valorization of SMS is crucial for the sustainability of the mushroom industry. Its development will contribute to agricultural sustainability and to the transition to a circular economy.

### 3. MUSA PROJECT AND VALORIZATION CONCEPT

**MUSA** (**MU**shrooms for **S**ustainable **A**griculture) is a project, where scientists from Norway, Sweden, and Estonia join efforts to develop solutions contributing to enhanced agriculture sustainability in Nordic and Baltic countries. **MUSA** researchers are convinced that developing an economically efficient and environmentally sustainable production of mushrooms in the Nordic region, including the highly appreciated shiitake and oyster mushrooms, is possible. The large availability of crop and forest residues in the region poses a high potential as a substrate base for mushroom cultivation. By growing edible mushrooms on residues from local agriculture and indigenous forestry plantations, waste streams can be converted into high-quality food. For the Nordic societies, that would decrease food imports, leading to economic profits and food security and reducing greenhouse gas emissions in transportation. Furthermore, it would add value to materials currently considered residues, promoting bioeconomy and rural development.

The **MUSA** concept envisages growing mushrooms as a sustainable process because it converts residual biomass into high-quality food and produces SMS for various applications. The rationale behind the valorization concept is the combination of (i) presence of bioactive compounds in SMS, (ii) pretreating effect of fungal cultivation, which activates polysaccharides to enzymatic saccharification, (iii) suitability of SMS cellulosic hydrolysates as substrate for microbial cultivation, (iv) ability of *Rhodotorula* spp. yeasts to produce oils and bioactive compounds in hydrolysates, (v) potential of green solvents for extracting lignin from lignocellulosic residues, (vi) SMS feasibility as biofertilizer and soil amendment, and (vi) potential of SMS for wastewater bioremediation.

The general aim of the project is to develop a novel approach for enhancing agriculture and forestry sustainability in the Nordic region by producing edible mushrooms on substrates based on local bioresources in combination with upgrading the SMS in applications supporting food production, the substitution of mineral fertilizers and providing wastewater bioremediation solutions. The **MUSA** concept is unique and novel in its holistic approach, which combines mushroom cultivation on plant residues with a broad palette of SMS applications. In contrast, previous research has often focused on mushroom cultivation on a specific type of substrate, with limited attention to SMS valorization. Furthermore, previous valorization efforts seldom included different alternative uses as **MUSA** does.

#### 4. METHOD/DEVELOPMENT OF INNOVATION EXPERIENCE

The project is organized into five work packages (WP) listed below.

WP1. Mushroom production

WP2. SMS biorefining

WP3. Use of SMS as biofertilizer and soil amendment

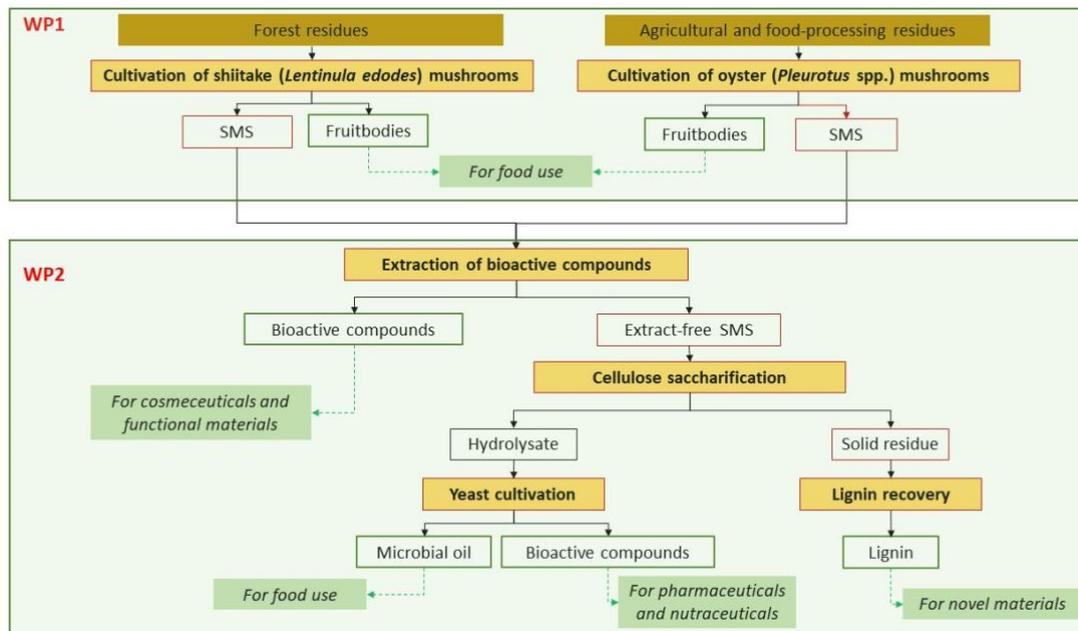
WP4. Use of SMS for the conservation of water ecosystems

WP5. Management, dissemination, exploitation, and communication

The research activities in the technical WPs (WP1-4) are discussed in subsections 4.1 – 4.4. A schematic representation is given in Figures 1 and 2.

##### 4.1. Mushroom production

Previous work by **MUSA** researchers has shown the suitability of underused streams of Nordic forestry for producing shiitake (Xiong et al, 2019) and oyster mushrooms (Chen et al., 2022a). That experience is used in the WP1 of the current project for cultivating edible mushrooms and generating SMS on substrates based on residues of Nordic agriculture and forestry (Fig. 1, top). The effect of the substrate composition on the quantity and quality of fruitbodies of several gourmet mushroom species (mainly shiitake and various oyster mushrooms) and SMS characteristics are being evaluated.



**Figure 1.** Schematic representation of the research activities in WP1 (top) and WP2 (bottom). **Source:** Own work

The feasibility of a novel automated system for reaching high-quality fruitbodies within shorter periods than in state-of-the-art methods will be assessed. Factorial experiments, with the substrate components and their weight fraction as independent variables, mycelial colonization rate, mushroom yield, and compositional changes as response factors, will be carried out under controlled temperature, humidity, light, and CO<sub>2</sub>. Analytical acid hydrolysis combined with high-performance liquid chromatography, and pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry are used for compositional analysis.

## 4.2. SMS biorefining

Using SMS as a biorefinery feedstock is an important research line in the **MUSA** concept. The WP2 envisages a biorefining scheme including four connected processes, namely, (i) extraction of bioactive compounds, (ii) enzymatic saccharification of cellulose and hemicelluloses contained in extract-free SMS, (iii) production of microbial oil and carotenoids by yeast cultivation in SMS sugars, and (iv) lignin recovery from saccharification residue (Fig. 1, bottom).

### 4.2.1. SMS as a source of bioactive compounds

SMS is a promising source of bioactive compounds of either fungal or plant origin, e.g., polyphenols, polysaccharides, and proteins. That includes (i) molecules

contained in the mycelium, (ii) substances secreted by fungal growth, (iii) phytochemicals of the lignocellulose extractives, and (iv) products of partial degradation of plant cell wall polymers. However, the bioactive molecules of the SMS, differently from those of the sporocarps of edible fungi, have so far not received enough attention.

**MUSA** actions are directed to extract bioactive phenolics,  $\beta$ -glucans, proteins, and ergosterol from the SMS resulting from cultivating *L. edodes* and *P. ostreatus*. Fruitbodies of those fungal species have high pharmaceutical and culinary interest (Parola et al., 2017), but their SMSs are largely underexploited. **MUSA** researchers will apply smart extraction procedures for recovering bioactive compounds from SMS. Novel smart-extraction protocols leading to high recovery of bioactive molecules without affecting their functional properties and avoiding the degradation of non-targeted compounds are now under development. The first experiments within the project allowed recovering polyphenolics from SMS of different *Pleurotus* spp. using ultrasound and subcritical water for intensifying the extraction (Klausen et al., 2023). So far, the research has identified phenolic acids contained in SMS extracts and correlated the antioxidant activity with the content of total phenolic compounds and with individual phenolic acids. A good correlation between the FRAP antioxidant capacity and the concentration of caffeic acid in extracts was elucidated. Experiments on optimization of the subcritical-water extraction of *Pleurotus* spp. SMS and extending it to *Lentinula edodes* (shiitake) SMS are underway. The produced extracts will be concentrated, refined, and evaluated as source of ingredients for cosmeceuticals and functional packaging.

#### 4.2.2. SMS as a source of sugars

Even if a part of the cell wall components is consumed during fungal growth, the SMS still contains considerable amounts of cellulose, hemicelluloses, and lignin (Chen et al., 2022a). Those components remain in the solid residues after extraction of bioactive compounds from SMS. Processing them via sugar-platform routes allows for obtaining additional bioactive substances and other valuable compounds.

During mushroom cultivation, the growing fungi partially degrade lignin and a part of hemicelluloses, thus enhancing the enzymatic saccharification of cellulose (Chen et al., 2022b). Therefore, mushroom cultivation can be considered a bio-pretreatment for lignocellulose bioconversion. We have previously shown that cellulose contained in shiitake SMS is highly susceptible to enzymatic saccharification (Xiong et al., 2019; Chen et al., 2022a). **MUSA** project will investigate how the extraction processes applied to recover bioactive compounds affect the enzymatic saccharification of SMS cellulose. The initial experiments have shown that the extract-free material remaining after the recovery of bioactive compounds from *Pleurotus* spp. SMS displays an enhanced saccharification compared to raw SMS (Klausen et al., 2023).

#### 4.2.3. SMS sugars as sources of lipids, carotenoids, and $\beta$ -glucans

The sugars released from enzymatic saccharification serve as carbon sources for microbial fermentations. Furthermore, we have previously shown that SMS hydrolysates contain nutrients that allow fermentation with baker's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) without additional supplementation (Chen et al., 2022c). The current project intends to assess the fermentability of SMS hydrolysates with oleaginous yeasts. We have previously cultivated oleaginous yeasts in hydrolysates of other lignocellulosic materials (Passoth et al., 2023), and we expect that SMS hydrolysates will also be suitable substrates.

Oleaginous yeasts can convert hydrolysates into valuable substances like oils, carotenoids, and  $\beta$ -glucans. The lipid content of oleaginous yeasts, e.g., *Rhodotorula toruloides*, can be above 60% of cell dry matter, which can be reached within 3 – 4 days of cultivation (Brandenburg et al. 2021; Chmielarz et al., 2021). Vegetable oils (VO) are among the products causing the largest environmental impact (Kathri & Jain, 2017). The greenhouse gas potential per ton of produced palm-, soybean- and rapeseed oil is above 2000 kg CO<sub>2</sub> (Uusitalo et al., 2014). Furthermore, rainforest clearing for soybean and oil palm plantation is a major problem in VO-producing countries. Thus, oil production from SMS hydrolysates will decrease the environmental impact of food production and increase the security of supply. Fungal oil produced from lignocellulose was used as food in Germany during the first world war (Lundin 1950). There are also examples of using yeast oil in fish feed (Blomqvist et al. 2018, Brunel et al. 2022).

In a recent study it has been shown that yeast oil produced by *Rhodotorula spec.* from wheat straw requires 10-38% fossil resources less than producing the same amount of rape seed oil. VO for feeding salmonid fish feed can be replaced by yeast oil without requiring additional agricultural land (Sigtryggsson et al. 2023).

*Rhodotorula spp.* yeasts are also a source of bioactive compounds, such as carotenoids ( $\beta$ -carotene, torulene, and torularhodine) and  $\beta$ -glucans. Carotenoids exhibit antioxidant properties and are important for pharmaceutical and food industries (Rapoport et al., 2021).  $\beta$ -Glucans have immunostimulant activity (Zhu et al., 2016).

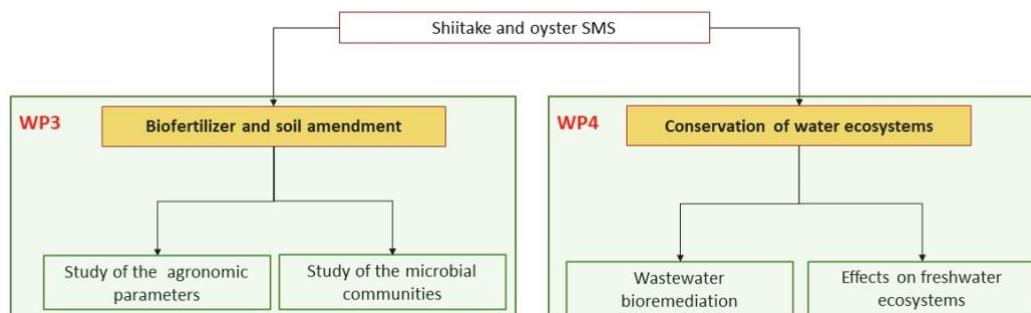
#### 4.2.4. Lignin recovery from SMS saccharification residue

Lignin contained in the initial substrate used for mushroom cultivation is majorly degraded by fungal growth. The lignin fraction not degraded during fungal growth remains in the treated solids even after extraction and saccharification. The SMS saccharification residue is a lignin-rich material with good valorization potential, provided lignin is appropriately recovered and purified. Based on our previous experience in upgrading hydrolysis lignin resulting from softwood saccharification in a biorefinery (Momayez et al., 2022), we intend to use green solvents to extract lignin from SMS saccharification residue. **MUSA** envisages recovering high-purity lignin from SMS and directing it to biomedical applications, energy-storage solutions, and other value-added uses.

### **4.3. SMS as biofertilizer and soil amendment**

SMS can result in agronomic benefits when applied to farmlands. Previous reports show that SMS contributes to repairing soil quality and enhancing the growth of selected plants, and its application allows for diminishing the use of mineral fertilizers (Martín et al., 2023; Leong et al., 2020). SMS contains a high percentage of carbon, leading to nitrogen and other nutrients immobilization during the first phases of the decomposition (Medina et al., 2012). Although SMS's suitability as a biofertilizer or soil amendment has previously been shown, the full potential of the nutrients captured in the fungal mycelium and its substrate is still poorly explored. By quantifying the long-term agronomic benefits of using SMS as a peat

substitute in horticulture or as a soil amendment in agriculture (WP3, Fig. 2), the **MUSA** project expects to fill the existing knowledge gap.



**Figure 2.** Schematic representation of the research activities in WP3 (left) and WP4 (right). **Source:** Own work

Since microbes inhabiting SMS hold enzymatic systems that degrade polymeric compounds into simpler substances accessible to plants, knowledge on the microbial communities in the SMS are important for the use as a biofertilizer and soil amendment (Xu et al., 2022). Previous studies have mainly focused on microbes with cellulolytic and ligninolytic capacity (Hu et al., 2019), whereas chitinolytic bacteria have been underestimated. However, the promotion of chitinolytic microbes is a promising strategy to improve crop yield and to control diseases considering that chitin biodegradation generates products that can act as nutrients and that chitin-degrading microbes are often biocontrol agents of plant pathogens (Hui et al., 2019). In the WP3 of the current project, the structure of microbial communities in SMS will be elucidated and manipulated to enhance the bioavailability of nutrients and facilitate their uptake by selected crops (Fig. 2). Chitinolytic and N-fixing bacteria will be isolated, and possible correlations between specific microbes and SMS effectivity as biofertilizer and soil amendment will be assessed. The research on SMS as a biofertilizer and soil amendment is backed by the previous studies by the team on the impact of organic fertilizers (Mousavi et al., 2022) and on studying mushroom-inhabiting microorganisms (Gohar et al., 2022).

#### 4.4. SMS for conservation of water ecosystems

The direct reuse of treated wastewater for irrigation has attracted much attention to reduce the demand for freshwater supplies in agriculture. However, due to incomplete removal by conventional water treatment, organic

micropollutants (OMPs) can be detected in treated wastewater (Golovko et al., 2021). Sustainable and cost-efficient treatment options are needed to prevent the introduction of OMPs into the agricultural ecosystem and food chain, and SMS has gained attention in this context (Leong et al., 2022). **MUSA** researchers have previously observed high removal of OMPs by treatment with fungal substrates, which was explained by the release of enzymes, such as laccases and peroxidases, in parallel with adsorption of the micropollutants to lignocellulose (Hultberg et al., 2020).

SMS-based bioremediation technology is still in an early phase, and further research is still required. Furthermore, the impact of exposing water ecosystems to SMS needs to be assessed. Despite the potential of direct use of SMS as an *in-situ* bioremediation tool in polluted water bodies, the possible leakage of nutrients into the ecosystem might increase the eutrophication risk. Therefore, the SMS effects on freshwater ecosystems need to be evaluated. WP4 includes using SMS in wastewater bioremediation and evaluating the effects on selected water systems (Fig. 2).

## 5. DISCUSSION / CONCLUSIONS

Production of edible mushrooms based on local crop and forest residues is a promising commercial activity contributing to the sustainability of Nordic agriculture and forestry. The generation of high quantities of spent mushroom substrate (SMS) is a consequence of an active mushroom business. Therefore, the efficient valorization of SMS is highly relevant for a sustainable mushroom industry.

The **MUSA** concept focuses on valorizing SMS towards valuable products and services. The project will develop novel protocols for green extraction of bioactive compounds from SMS. The extracted bioactive molecules could be used as bio-based ingredients in socially sensitive commercial areas. SMS-derived nutraceuticals, cosmeceuticals, food supplements, and active ingredients in functional materials might be the base of a new "next-generation mycoderivatives" sector.

Saccharification of SMS polysaccharides provides carbon sources for microbial fermentations. **MUSA** will investigate in detail the production of microbial oil and

bioactive compounds by cultivating oleaginous yeasts in SMS hydrolysates. Our results will be of interest for extending the experience to producing biofuels, biopolymers, and platform chemicals using yeasts and bacteria. **MUSA** project also includes a pioneering study on recovering lignin from SMS saccharification residue. Characterization of the recovered lignin will help elucidate potential applications.

Investigating the benefits of SMS application on soil fertility and structure will clarify its potential for substituting a part of the currently used mineral fertilizers, which would contribute to mitigating soil salinization and acidification and avoiding nutrient imbalances and accumulation of toxic compounds. The **MUSA** researchers will also generate valuable knowledge on the structure of microbial communities inhabiting SMS and on their effect on SMS properties as biofertilizer and soil amendment.

Using SMS in the bioremediation of wastewater to be used in irrigation is a possible sustainable treatment for preventing the introduction of organic micropollutants into the food chain. **MUSA** expects to generate knowledge on an efficient SMS-based bioremediation technology that removes pollutants from contaminated water and avoids detrimental effects on selected water ecosystems.

**MUSA** has an interdisciplinary team allowing for an interdisciplinary approach. That is crucial for setting a technically feasible and environmentally sustainable method for valorizing plant residues via mushroom production. That interdisciplinary approach will also allow for efficiently upgrading SMS within a circular bioeconomy scenario.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The project is part of **NordForsk** Sustainable Agriculture and Climate Change programme, which is financed by the Research Council of Norway, the Swedish Research Council for Environment, Agricultural Sciences, and Spatial Planning (Formas), and the Estonian Ministry of Regional Affairs and Agriculture. Additional financial support is provided by the Inland Regional Research Fund, Sparebankstiftelsen Hedmark, and Bio4Energy research environment. **NordForsk** and all the funding bodies are gratefully acknowledged.

## REFERENCES

- BLOMQVIST, J., PICKOVA, J., TILAMI, S.K. et al. (2018) Oleaginous yeast as a component in fish feed. *Sci. Rep* 8, 15945.
- BRANDENBURG, J., BLOMQVIST, J., SHAPAVAL, V. et al. (2021) Oleaginous yeasts respond differently to carbon sources present in lignocellulose hydrolysate. *Biotechnol. Biofuels* 14, 124.
- CARRASCO-GONZÁLEZ, J.A., SERNA-SALDÍVAR, S.O., GUTIÉRREZ-URIBE, J.A. (2017) Nutritional composition and nutraceutical properties of the *Pleurotus* fruiting bodies: Potential use as food ingredient. *J. Food Compos. Anal.* 58, 69–81.
- CARVALHO, J.L.N., NOGUEIROL, R.C., et al. (2017) Agronomic and environmental implications of sugarcane straw removal: a major review. *GCB Bioenergy* 9, 1181–1195.
- CHEN, F., MARTÍN, C., FINELL, M., XIONG, S. (2022a) Enabling efficient bioconversion of birch biomass by *L. edodes*: regulatory roles of nitrogen and bark additions on mushroom production and cellulose saccharification. *Biomass Convers. Bior.* 12, 1217–1227.
- CHEN, F., MARTÍN, C., LESTANDER, T.A., GRIMM, A., XIONG, S. (2022b) Shiitake cultivation as biological preprocessing of lignocellulosic feedstocks – substrate changes in crystallinity, syringyl/guaiacyl lignin and degradation-derived by-products. *Bioresour. Technol.* 344, Part B, 126256.
- CHEN, F., XIONG, S., GANDLA, M.L., STAGGE, S., MARTÍN, C. (2022c) Spent mushroom substrates for ethanol production – effect of chemical and structural factors on enzymatic saccharification and ethanolic fermentation of *L. edodes*-pretreated hardwood. *Bioresour. Technol.* 347, 126381.
- CHMIELARZ, M., BLOMQVIST, J., SAMPELS, S., SANDGREN, M., PASSOTH, V. (2021) Microbial lipid production from crude glycerol and hemicellulosic hydrolysate with oleaginous yeasts. *Biotechnol. Biofuels* 14, 65.

- DONNER, M., VERNIQUET, A., BROEZE, J., et al. (2021) Critical success and risk factors for circular business models valorising agricultural waste and by-products. *Resour. Conserv. Recycl.* 165, 105236.
- EUROPEAN MUSHROOM GROWERS' GROUP. Production figures. Retrieved from: <http://www.infochampi.eu/production-figures/>.
- GOHAR, D., PÖLDMAA, K., et al. (2022) Global diversity and distribution of mushroom-inhabiting bacteria. *Environ. Microbiol. Rep.* 14, 254-264.
- GOLOVKO, O., ÖRN, S., et al. (2021) Occurrence and removal of chemicals of emerging concern in wastewater treatment plants and their impact on receiving water systems. *Sci. Tot. Environ.* 754, 142122.
- HU, T., WANG, X., et al. (2019) Effects of inoculation with lignocellulose-degrading microorganisms on antibiotic resistance genes and the bacterial community during cocomposting of swine manure with spent mushroom substrate. *Environ. Pollut.* 252, 110-118.
- HUI, C., JIANG, H., et al. (2019) Chitin degradation and the temporary response of bacterial chitinolytic communities to chitin amendment in soil under different fertilization regimes. *Sci. Total Environ.* 705, 136003.
- HULTBERG, M., AHRENS, L., GOLOVKO, O. (2020) Use of lignocellulosic substrate colonized by oyster mushroom (*P. ostreatus*) for removal of organic micropollutants from water. *J. Environ. Manage.* 272, 111087.
- KHATRI, P., JAIN, S. (2017) Environmental life cycle assessment of edible oils: A review of current knowledge and future research challenges. *J. Clean. Prod.* 152, 63–76.
- KLAUSEN, S.J.; FALCK-YTTER, A.B.; STRÆTKVERN, K.O.; MARTÍN, C. (2023) Evaluation of the extraction of bioactive compounds and the saccharification of cellulose as a route for the valorization of spent mushroom substrate. *Molecules* 28, 5140.

- LEONG, Y.K., MA, T.W., et al. (2022). Recent advances and future directions on the valorization of spent mushroom substrate (SMS): A review. *Bioresour. Technol.* 344, 126157.
- LUNDIN, H. (1950) Fat synthesis by micro-organisms and its possible applications in industry. *J. Inst. Brewing* 56, 17-28.
- LYNCH, J., PIERREHUMBERT, R. (2019). Climate impacts of cultured meat and beef cattle. *Front. Sustain. Food Syst.* 5.
- MARTÍN, C. (2021) Pretreatment of crop residues for bioconversion. *Agronomy* 11, 924.
- MARTÍN, C., ZERVAKIS, G.I., XIONG, S., KOUTROTSIOS, G., STRÆTKVERN, K.O. (2023) Spent substrate from mushroom cultivation: exploitation potential towards various applications and value-added products. *Bioengineered* 14(1), 2252138.
- MEDINA, E., PAREDES, C., et al. (2012) Relationships between soil physico-chemical, chemical and biological properties in a soil amended with spent mushroom substrate. *Geoderma* 173–174, 152-161.
- MOMAYEZ, F., HEDENSTRÖM, M., STAGGE, S., JÖNSSON, L.J., MARTÍN, C. (2022) Valorization of hydrolysis lignin from a spruce-based biorefinery by applying  $\gamma$ -valerolactone treatment. *Bioresour. Technol.* 359, 127466.
- MOUSAVI, H., COTTIS, T., HOFF, G., SOLBERG, S.Ø. (2022) Nitrogen enriched organic fertilizer (neo) and its effect on ryegrass yield and soil fauna feeding activity under controlled conditions. *Sustainability* 14, 2005.
- PAROLA, S., CHIODAROLI, L., et al. (2017) *L. edodes* and *P. ostreatus*: functional food with antioxidant - antimicrobial activity and an important source of Vitamin D and medicinal compounds. *Funct. Foods Health Dis.* 7, 773-794.
- PASSOTH, V., SANDGREN, M. (2019) Biofuel production from straw hydrolysates: current achievements and perspectives. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 103, 5105–5116.

- PASSOTH, V., BRANDENBURG, J., CHMIELARZ, M., MARTÍN-HERNÁNDEZ, G. C., NAGARAJ, Y., MÜLLER, B., & BLOMQVIST, J. (2023) Oleaginous yeasts for biochemicals, biofuels and food from lignocellulose-hydrolysate and crude glycerol. *Yeast* 40, 290–302.
- RAPOPORT, A., GUZHOVA, I., et al. (2021) Carotenoids and some other pigments from fungi and yeasts. *Metabolites* 11, 92.
- ROYSE, D.J., BAARS, J., TAN, Q. (2017). Current overview of mushroom production in the world. In: Cunha Zied, D., Pardo-Giménez, A. (Eds.), *Edible and Medicinal Fungi: Technology and Applications*. John Wiley & Sons Ltd, Hoboken, NJ, pp. 5–13.
- SIGTRYGGSSON, C., KARLSSON POTTER, H., PASSOTH, V. et al. (2023) From straw to salmon: a technical design and energy balance for production of yeast oil for fish feed from wheat straw. *Biotechnol. Biofuels* 16, 140.
- SVENSKA SVAMPODLARFÖRENINGEN. Svenskodlad svamp – en närodlad delikatess. <http://www.svamplarna.org/organisation/odlade-svampar-oversikt-o-marknad/>. Retrieved May 2022.
- UUSITALO, V., VÄISÄNEN, S., et al. (2014) Carbon footprint of renewable diesel from palm oil, jatropha oil and rapeseed oil. *Renew. Energ.* 69, 103-113.
- XIONG, S.J., MARTÍN, C., et al. (2019) Energy-efficient substrate pasteurisation for combined production of shiitake mushroom (*L. edodes*) and bioethanol. *Bioresour. Technol.* 274, 65–72.
- XU, S.-Y., WEI, J.-K., et al. (2022) Microbial inoculation influences microbial communities and physicochemical properties during lettuce seedling using composted spent mushroom substrate. *Appl. Soil Ecol.* 174, 104418.
- ZHU, F., DU, B., XU, B.J. (2016) A critical review on production and industrial application of beta-glucans. *Food Hydrocoll.* 52, 275-288.
- ZISOPOULOS, F.K., RAMÍREZ, H.A., et al. (2016) A resource efficiency assessment of the industrial mushroom production chain: the influence of data variability. *J. Clean. Prod.* 126, 394–408.

