

**CONAMA 2024**

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

# Aplicación de indicadores de sostenibilidad en herramientas digitales para combatir la PDA



# CONAMA 2024

APLICACIÓN DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD EN HERRAMIENTAS DIGITALES  
PARA COMBATIR LA PDA

---

**Autor Principal:** Raquel Martínez Vázquez (Centro Tecnológico Energylab)

**Otros autores:** Marta M. Pérez Martínez (Centro Tecnológico Energylab), Alberto Casalderrey Area (Centro Tecnológico Energylab), Anahí Ginestá Anzola (Centro Tecnológico de la Energía y el Medio Ambiente), Raquel Díaz Ruiz (Fundación Espigoladors), Neus Zurro Sánchez (Fundación Espigoladors), Berta Vidal Monés (Fundación Espigoladors), Héctor Barco Cobalea (Fundación Espigoladors), Denis Ugalde Gómez (Oreka Circular Economy), Ainize Medrano Belloso (Oreka Circular Economy), Álvaro Areta García (Coordinadora de Organizaciones de Agricultores y Ganaderos)

## ÍNDICE

1. Título
2. Resumen
3. Introducción
4. Metodología
5. Resultados y discusión
6. Conclusiones
7. Bibliografía

## 1. TÍTULO

Aplicación de indicadores de sostenibilidad en herramientas digitales para combatir la PDA.

## 2. RESUMEN

Según los últimos datos de la FAO, un tercio de toda la comida producida en el mundo se pierde o desperdicia. El Comité de Seguridad Alimentaria Mundial considera como pérdida y desperdicio alimentario (PDA) a la disminución de la masa de alimentos destinados originalmente al consumo humano, independientemente de la causa y en todas las fases de la cadena alimentaria. Esta PDA supone un impacto medioambiental, económico y social porque los productos terminan siendo desechados, eliminados o redistribuidos hacia otro tipo de mercados o industrias alimentarias para las cuales no estaban originariamente previstos.

El proyecto de innovación “Avanzando hacia un modelo digital para el desperdicio cero en el sector agroalimentario”, ejecutado por el Grupo Operativo PDApp, propone el desarrollo de una plataforma digital que permite a los productores prevenir o reducir la generación PDA y/o escoger alternativas de gestión que permitan un mejor aprovechamiento, a través de un módulo de intercambio entre productores y receptores potenciales. Esta plataforma incorpora una herramienta back-end para el cálculo de indicadores de sostenibilidad, siguiendo la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), conforme a los estándares ISO 14040 y 14044. La finalidad de estos indicadores es aportar a los usuarios una evaluación periódica de su desempeño ambiental, social y económico con relación a la PDA registrada en la plataforma y las medidas de prevención y reducción que se decidan poner en marcha. Por otra parte, aplicando la metodología de Proceso Analítico Jerárquico (AHP) mediante la técnica de Análisis de Decisión Multicriterio (MCDA), los indicadores serán utilizados como criterio de decisión en el módulo de intercambio, a través de un valor único que permita ordenar los posibles receptores de PDA y favorecer aquellos que ayuden a mejorar el desempeño en sostenibilidad del usuario.

### Palabras clave

LCSA; herramienta digital; gestión de residuos; sector hortofrutícola

## 3. INTRODUCCIÓN

Anualmente, cerca de un tercio de toda la comida producida en el mundo para consumo humano se pierde o desperdicia, lo que equivaldría a 1,3 billones de toneladas al año [1]. A raíz de este resultado, en septiembre de 2015, la ONU marcó, entre sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) la meta 12.3 de “reducir a la mitad el desperdicio de alimentos per cápita mundial en la venta al por menor y a nivel de los consumidores y reducir las pérdidas de alimentos en las cadenas de producción y suministro, incluidas las pérdidas posteriores a la cosecha” antes del 2030 [2]. Por otro lado, el Índice de Pérdida de Alimentos (FLI) de la FAO estima que alrededor del 14% de los alimentos producidos se pierden desde la etapa de poscosechado hasta la venta minorista (excluyendo esta última etapa) [3]. Actualmente no

existe una definición universal para el término de PDA, llegando a identificarse más de cien definiciones diferentes [4]. Por ejemplo, el Estándar de PDA [5] permite a la propia entidad seleccionar qué tipos de materiales y destinos considera dentro de su PDA, de acuerdo con sus metas. En particular para este proyecto, se considera como PDA la disminución de la masa de alimentos destinados originalmente al consumo humano, independientemente de la causa y en todas las fases de la cadena alimentaria, desde la cosecha hasta el consumo (definición del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial). Estos alimentos terminan siendo desechados y eliminados, sujetos a algún tratamiento de valorización mediante digestión anaerobia, compostaje industrial o actividades similares; así como redistribuidos para consumo humano o animal.

La FAO estima que el coste directo de pérdidas a nivel mundial es de 1.000 millones de euros en impacto económico, 700.000 millones en impacto ambiental y 900.000 en impacto social [3]. La cuantificación y valoración de la magnitud de los impactos/beneficios que pueden suponer las actuaciones para prevenir la generación de PDA, reducir su cantidad o canalizarla para darle un destino final con algún tipo de aprovechamiento, resulta necesaria y conveniente para todas las partes interesadas.

Para realizar la evaluación del impacto existen diferentes técnicas de análisis de ciclo de vida de productos, procesos y organizaciones. Las metodologías y estándares específicos de ACV para evaluar el desempeño ambiental de productos y servicios no han sido revisados específicamente puesto que se trata de una metodología ampliamente desarrollada, de acuerdo con los estándares ISO 14040 y 14044. Las técnicas de Análisis de Coste de Ciclo de Vida (ACCV) y Análisis de Ciclo de Vida Social (ACV-S) tienen en cuenta todos los costes y aspectos sociales y socioeconómicos y siguen la estructura de ACV [6] [7] [8]. En línea con todo lo anterior, [6] propone la metodología de Análisis de Sostenibilidad de Ciclo de Vida (LCSA) para analizar el impacto en las tres dimensiones conjuntamente.

[9] (dentro del marco del proyecto REFRESH) identificaron medidas y metodologías para elaborar el ACV y ACCV de residuos alimentarios. Tal y como se menciona en el estudio, si se desarrollan simultáneamente ambos análisis es recomendable que mantengan la misma unidad funcional (UF), proponiendo como UF superficie cosechada, masa de alimento producido o de residuo recolectado y gestionado o producto obtenido del proceso de valorización. La mayoría de los trabajos de ACV revisados consideran la unidad en base másica (kg, tn...) [10]. En función de los objetivos del sistema, la UF se corresponde con los residuos generados/aprovechados o los productos consumidos.

Con respecto a los límites del sistema, tanto [9] como [6] coinciden en que de forma general pueden ser diferentes en función de la dimensión de la sostenibilidad. De todos modos, se ha observado que, en los ACCV de alimentos, se suelen vincular los flujos, procesos unitarios y fases de ciclo de vida con el enfoque ambiental (ACV). Autores como [11] se han centrado en el impacto de frutas y verduras a lo largo de su cadena de valor, comprobando de qué modo afecta sobre su desempeño ambiental la aplicación de diferentes tratamientos de residuos. Por otro lado, [12] han evaluado directamente el impacto ambiental y económico producido por la generación de residuos alimentarios en supermercados, con el objetivo de desarrollar estrategias y acciones que permitan reducirlos e identificar rutas de tratamientos alternativos. Debido a esto, han planteado el sistema de producto con un enfoque de cuna a tumba, de

manera que se incluyen procesos como la producción del alimento, transporte, venta al por mayor/menor, hogar privado y su correspondiente proceso de gestión. Con el objetivo de comparar el desempeño ambiental de diferentes sistemas de prevención y gestión de residuos alimentarios, [13] y [14] proponen una metodología en la que se aplica un enfoque de puerta a puerta sobre los procesos de prevención y de tratamiento de residuos. La mitad de los estudios revisados por [10], [12], [13] y [15], entre otros, consideran los productos evitados por la gestión de los residuos mediante la expansión de los límites del sistema, al considerarse que los residuos pueden ser procesados para producir electricidad, biogás, fertilizantes, alimento animal...

La mayoría de los autores incluyen dentro del sistema los procesos de gestión de los residuos, comparando en algunos casos los escenarios de gestión habituales con escenarios alternativos. Este es el caso de [12], dentro de los escenarios alternativos proponen la separación de los residuos en origen, permitiendo de este modo destinar mayor parte de los residuos a digestión anaerobia, a alimentación animal y a plantas de reciclaje. Además de estos tratamientos, se aplica la gestión a través de la incineración con recuperación de energía o el compostaje [11] [14].

Analizando el impacto económico en particular, [16] comparan el impacto generado por cuatro escenarios de gestión de residuos orgánicos. El primero (escenario base), se corresponde con la incineración de residuos mezclados y se compara con varios escenarios alternativos: uno de mayor separación y digestión de los residuos orgánicos, otro de aprovechamiento de los residuos vegetales para alimentación animal y un último relativo a la prevención de los residuos. Los costes considerados dentro del alcance son aquellos relacionados con los gastos/ beneficios para los agentes afectados por el cambio de destino de gestión: gastos relacionados con el sistema de gestión y la producción de alimentos y beneficios relacionados con la producción energética de los sistemas de gestión y en el sector agrícola debido al ahorro en el uso de fertilizantes. Por otro lado, las transferencias consideradas se corresponden con los ingresos estatales por los impuestos de las plantas de gestión e industria alimentaria, así como las pérdidas al no cobrar los impuestos de productores de energía, fertilizantes..., y los subsidios otorgados a la producción de biogás. En cambio, el ACCV incluido en el estudio de [12] se ha limitado a los costes de los productos perdidos en el supermercado y al coste de gestión final.

Se ha observado que no hay una metodología estandarizada para el desarrollo del ACV-S. Con todo esto, generalmente los expertos se basan en la guía metodológica desarrollada por la UNEP/SETAC para el ACV-S de productos [15] [17]. Por ejemplo, [17] desarrollaron la Metodología de Análisis de Subcategorías (MAS) a partir de las guías de la UNEP/SETAC y otras metodologías, que se basa en transformar información de carácter cualitativo en datos cuantitativos. Algunas de las subcategorías de impacto calculadas fueron las horas de trabajo, igualdad de oportunidades/discriminación, la seguridad y salud o el salario justo.

Como se comentó anteriormente, si se combinan los tres enfoques anteriormente descritos, se hablaría de LCSA. La mayoría de estos estudios, se enfocan en las tres dimensiones de la sostenibilidad individualmente o de forma integrada. [18] han desarrollado un caso de estudio en el que analizan la sostenibilidad de la gestión de residuos alimentarios separados en origen mediante digestión anaerobia (DA). El estudio, apoyándose en un análisis PESTEL, ha permitido identificar aquellos parámetros que pueden formar las bases de un LCSA. Para evaluar la dimensión económica, se proponen indicadores como los costes de recolección, transporte, DA,

mantenimiento, de mano de obra... y beneficios por la reducción de la generación de residuos o de la venta del biogás. Con respecto a los indicadores de la dimensión social, la mayoría tienen que ver con el impacto sobre los trabajadores como pueden ser oportunidades laborales, mejora de las condiciones de trabajo, impactos sobre la salud por los residuos peligrosos... Además, se han identificado los indicadores del pilar ambiental como pueden ser el cambio climático, ecotoxicidad terrestre y marina, potencial de acidificación y eutrofización.

Otro ejemplo de LCSA es el desarrollado por [15], en el que se evalúa la sostenibilidad de una empresa de aprovechamiento de aquellos alimentos que no cumplen los estándares de calidad del mercado. En función de la dimensión evaluada (ambiental, social o económica), el alcance sigue un enfoque de cuna a tumba o de puerta a puerta. Para la dimensión económica, consideran suficiente elaborar un ACCV basado en el Valor Actual Neto (VAN) teniendo en cuenta los flujos de caja e inversiones requeridas para la empresa (enfoque puerta a puerta). Con respecto a la dimensión ambiental, han evaluado el impacto en la categoría de cambio climático al redistribuir unos alimentos que iban a ser destinados a vertedero, teniendo en cuenta las cargas ambientales debidas a su etapa de producción (enfoque de cuna a tumba). Los grupos de interés que se ven afectados por este proyecto son múltiples: trabajadores, comunidad local, sociedad, agentes de la cadena de valor y consumidores. Debido a esto, ha sido necesario evaluar un mayor número de indicadores como la participación de la comunidad, contribución al desarrollo económico, relaciones con los proveedores...

Han ido surgiendo herramientas digitales como pueden ser *FLW Value Calculator* [19], *FORKLIFT* [20] o *Prevention action calculator – JRC* [21], que buscan ayudar a los agentes de la cadena de valor a cuantificar el impacto de sus desperdicios. Estas herramientas tienen en común que aportan información de impacto en varias dimensiones de la sostenibilidad, ofreciendo la posibilidad de calcular varios indicadores dentro de una propia dimensión. Por tanto, en todos los casos los resultados se obtienen en valor absoluto, dificultando obtener un resultado de sostenibilidad global que refleje la influencia relativa de cada uno de los pilares. Por sí sola, la metodología de ACV no desarrolla una evaluación multidimensional de la sostenibilidad y no ofrece el nivel de prioridad de unos indicadores frente a otros para un sector concreto [22]. Debido a esto, surge la necesidad de tomar decisiones entre un conjunto de alternativas y poder identificar cual es la mejor de ellas para resolver un problema concreto, para lo cual se utilizan los MDMC, siendo el AHP uno de los más empleados en combinación con ACV [23].

Para luchar contra la PDA en España, en enero de 2024 se publicó el Proyecto de ley que busca combatirla con un enfoque centrado en la prevención y concienciación, exigiendo a las empresas de la cadena alimentaria contar con un Plan de Prevención que les permita realizar un autodiagnóstico de su sistema productivo, identificar los puntos críticos e implementar medidas que permitan minimizar las pérdidas. Además, se plantea priorizar la jerarquía de prioridades para el destino de los alimentos (Figura 1).

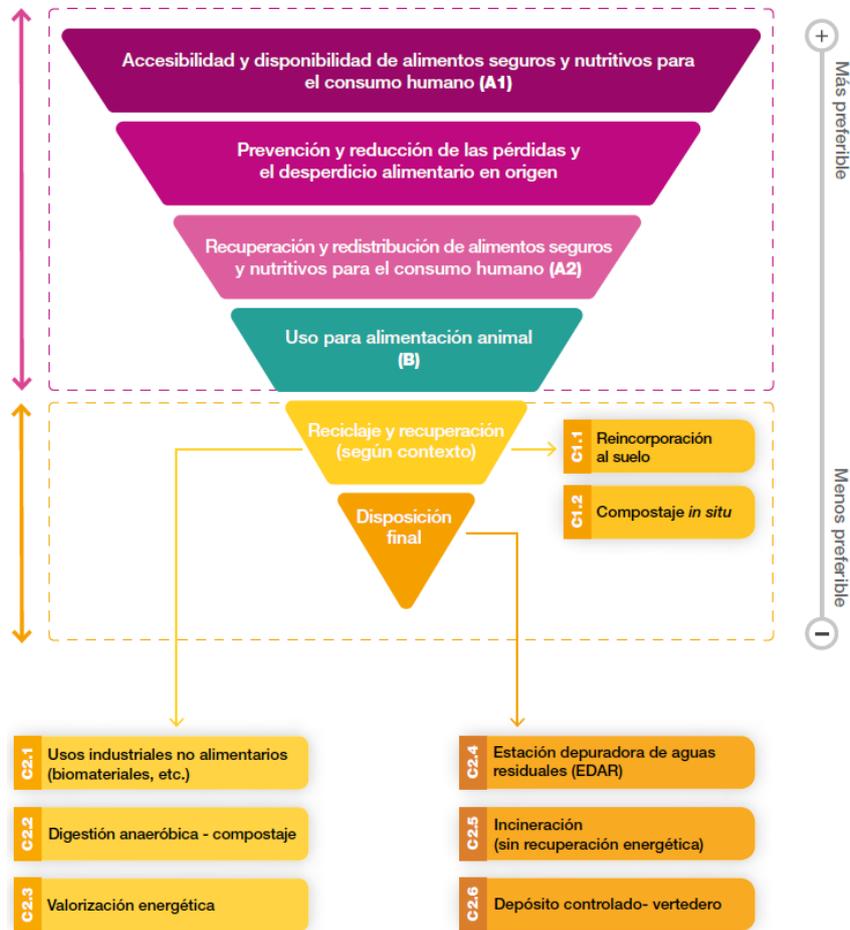


Figura 1. Ejemplo de jerarquía de usos de los alimentos [24]

Con todo esto, el sector hortofrutícola presenta una serie de necesidades que el proyecto de innovación “Avanzando hacia un modelo digital para el desperdicio cero en el sector agroalimentario” pretende cubrir: la necesidad de disponer de datos primarios y actualizados sobre PDA en los primeros estadios de la cadena de valor que permitan desarrollar un Plan de Prevención y Reducción de PDA (PPRPDA) y la falta de disponibilidad de los datos sobre impactos ambientales, sociales y económicos causados al producirse un residuo que originalmente sería aprovechado por la sociedad. En este estudio, se propone una metodología para el desarrollo de una herramienta back-end de cálculo de indicadores de sostenibilidad que puede ser integrada en herramientas digitales de cuantificación de residuos, como puede ser PDApp (desarrollada en el marco del proyecto). Además, se espera establecer una metodología común para la evaluación del desempeño en sostenibilidad de productos alimentarios, prestando especial atención a productos hortofrutícolas.

## 4. METODOLOGÍA

A continuación, se expone la metodología propuesta para el desarrollo de la herramienta back-end de cálculo de indicadores de sostenibilidad de una plataforma digital.

## 4.1. Selección de indicadores de impacto

Se ha realizado un estudio bibliográfico preliminar para identificar los indicadores de impacto que mejor representan la problemática de la PDA en el sector hortofrutícola, siguiendo las perspectivas proporcionadas para las tres dimensiones (social, económica y ambiental).

En los estudios desarrollados hasta ahora, como puede ser los descritos en el informe de la [25], identifican que los indicadores de impacto de interés para evaluar los impactos de la generación de PDA a nivel ambiental son aquellos que valoran el efecto sobre el cambio climático, el consumo de agua, el uso del suelo, el consumo de energía o la pérdida de biodiversidad. Muchos de los trabajos que evalúan las implicaciones ambientales de la generación de PDA incluyen la huella de carbono o la huella hídrica, pero los restantes indicadores han sido poco utilizados hasta el momento [26].

La influencia sobre el pilar económico de la generación de PDA en su ciclo de vida permite identificar de forma específica sus repercusiones en el balance de coste y beneficios de una actividad productiva. Algunos de los indicadores más habitualmente empleados desde el punto de vista económico son el valor de mercado de la PDA y el coste de su gestión, es decir, el tratamiento de esta como residuo o su canalización hacia usos alternativos. Para estimar el valor de mercado de la PDA, la [25] propone varios enfoques en función del segmento de la cadena de abasto. Centrándose en el alcance del proyecto, correspondiente a la PDA generada entre el campo y la empresa minorista, propone considerar el desperdicio en las distintas etapas como venta perdida, al perderse parte del producto que se pretendía poner en el mercado. Si no se conoce el precio de liquidación del producto, es posible estimar el coste de la PDA a partir del precio de venta minorista [27]. Otra metodología propuesta consiste en la cuantificación de los costes de las empresas [9] [25]. De este modo, se podrían definir como indicadores económicos relevantes los costes de las materias primas o recursos empleados en el cultivo, los costes de materiales, energéticos y de recursos vinculados al procesado y los costes de transporte. Estos indicadores, a su vez, se podrían desagregar para alcanzar un mayor grado de precisión, por ejemplo, costes de suministros (consumo de agua, combustibles, electricidad), costes de materiales o productos concretos, inversiones en infraestructuras o equipamiento, costes laborales, etc.

Desde el punto de vista de ACV-S, los indicadores representan el efecto de la generación o prevención de PDA en el bienestar o la salud de las personas. Dos de los indicadores más habitualmente utilizados son el valor nutricional y las comidas desperdiciadas o donadas, debido a la importancia de la falta de abastecimiento mundial de alimentos o la pobreza alimentaria. El valor nutricional puede ser expresado en términos de contenido energético (calorías), macronutrientes (proteínas, grasas y carbohidratos) o micronutrientes (vitaminas o minerales). El indicador de comida desperdiciada o donada se podría expresar como la cantidad y tipo de PDA en raciones diarias de comida a través, por ejemplo, del contenido energético. [25] también identificó en su estudio otro tipo de indicadores sociales, que relacionan el empleo y la PDA, tanto por la redistribución de alimentos como por la prevención del desperdicio.

En base a los estudios disponibles sobre cuantificación e impacto de la PDA, se hizo una elección inicial de los 9 indicadores mayormente empleados y representativos de la problemática de la PDA en España, distribuidos en las tres dimensiones de la sostenibilidad:

**Cuadro 1.** Selección inicial de indicadores de impacto

Ambiental	Económica	Social
Potencial de calentamiento global (kg CO <sub>2eq</sub> )	Coste (€)	Accidentabilidad (nº de accidentes)
Agotamiento de recursos hídricos (m <sup>3</sup> )	Retorno económico salarios (€)	Posición en la jerarquía de residuos
Ocupación de tierras agrícolas (m <sup>2</sup> )	Beneficio fiscal donación (€)	Comidas aprovechadas (nº de comidas)

Fuente: Elaboración propia

## 4.2. Análisis de sostenibilidad de ciclo de vida (LCSA)

Para poder realizar el cálculo de los indicadores de impacto, tal y como se ha descrito en el Apartado 3, hay disponibles diversas técnicas de análisis de ciclo de vida de productos, procesos y organizaciones, entre las que se puede diferenciar el ACV, ACV-S, ACCV y LCSA, el cual engloba las tres dimensiones. La metodología escogida para el LCSA se corresponde con la metodología estandarizada de ACV [6] [7] [8], desarrollada de acuerdo con los estándares ISO 14040 y 14044 [28] [29], por ser unas metodologías de consenso para la comunidad internacional, y la ILCD HandBook [30] como herramienta de apoyo a estos estándares, siendo habitualmente empleada para resolver consideraciones metodológicas específicas. Por lo tanto, todas las técnicas se desarrollan siguiendo las siguientes etapas: definición de objetivo y alcance, inventario, evaluación de impacto e interpretación de resultados.

La primera fase de un ACV sirve para establecer el propósito y las circunstancias y condiciones que se considerarán para su realización. El alcance consiste en el conjunto de condiciones y características sobre las que se desarrolla el estudio. Para el establecer el alcance es necesario definir de manera clara y sin ambigüedades una serie de elementos, como el sistema y los límites del mismo, la función, unidad funcional y flujo de referencia, los procedimientos de asignación, la metodología de evaluación de impacto, los requisitos relativos a los datos, las suposiciones o limitaciones, entre otros.

La fase de inventario de ciclo de vida (ICV) comprende la recopilación y cuantificación de los datos de entrada y salida en relación con el sistema bajo estudio, necesarios para cumplir con el objetivo y de acuerdo con los requisitos definidos en el alcance. Se entiende como entrada/salida a todo flujo de producto, materia o energía que entra o sale en un proceso unitario. Para completar el inventario, normalmente se utilizan datos directos, específicos o primarios en los procesos más relevantes para el estudio y/o directamente vinculados con el objetivo y el producto a estudiar. Los datos indirectos, secundarios o de referencia son utilizados en los restantes procesos, y deben proceder de fuentes bibliográficas contrastadas, publicadas por organismos públicos o representantes del sector privado. Uno de los aspectos principales a considerar para elaborar el inventario son los procedimientos de asignación en el caso de procesos multifuncionales (ISO 14044).

La evaluación de impacto del ciclo de vida (EICV) es la fase destinada a conocer y valorar la magnitud y la importancia relativa de los impactos ambientales potenciales de un sistema a través de todo el ciclo de vida del producto. En esta fase se relacionan los datos del inventario con categorías de impacto ambiental específicas, dando como resultado los factores de impacto, a través de metodologías de evaluación de impacto, que son sistemáticas que transforman los datos de inventario en resultados de importancia ambiental.

La interpretación es la fase del ciclo de vida en la que, considerando los resultados obtenidos durante la fase de inventario y evaluación de impacto y, de manera coherente con el objetivo y alcance planteados, se establecen conclusiones y recomendaciones y se exponen las limitaciones identificadas en el estudio.

### 4.3. Proceso Analítico Jerárquico

Se utiliza el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) en combinación con el ACV como metodología principal para evaluar varias alternativas de gestión desde el enfoque de ciclo de vida ambiental, económico y social, ya que el ACV, por sí solo, no proporciona una evaluación multidimensional de la sostenibilidad y no ofrece el nivel de prioridad de unos criterios frente a otros [22]. Por ejemplo, [22] combina ambas metodologías para poder evaluar la sostenibilidad de varias instalaciones fotovoltaicas y escoger la más favorable, teniendo en cuenta criterios sociales, ambientales, económicos, técnicos y políticos.

El AHP (The Analytic Hierachy Process, 1980) es una metodología de Decisión Multicriterio empleada para solucionar una gran variedad de problemas complejos. Es un método matemático creado para evaluar alternativas cuando se tienen en consideración varios criterios, que da como resultado una jerarquización de prioridades en la que se obtiene la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión. Según [31], el proceso se puede descomponer en 4 fases principales:

- Definición del problema y el tipo de conocimiento que se desea obtener.
- Descomposición del problema en criterios y subcriterios (subproblemas), posicionando en la zona baja las alternativas al problema (Figura 2).
- Construcción de matrices de comparación a partir del juicio de expertos que realizan la comparación de los criterios y subcriterios por pares con la escala entre 1 y 9 sugerida por la metodología.
- Síntesis de las matrices y construcción de un modelo con la prioridad global de cada alternativa.

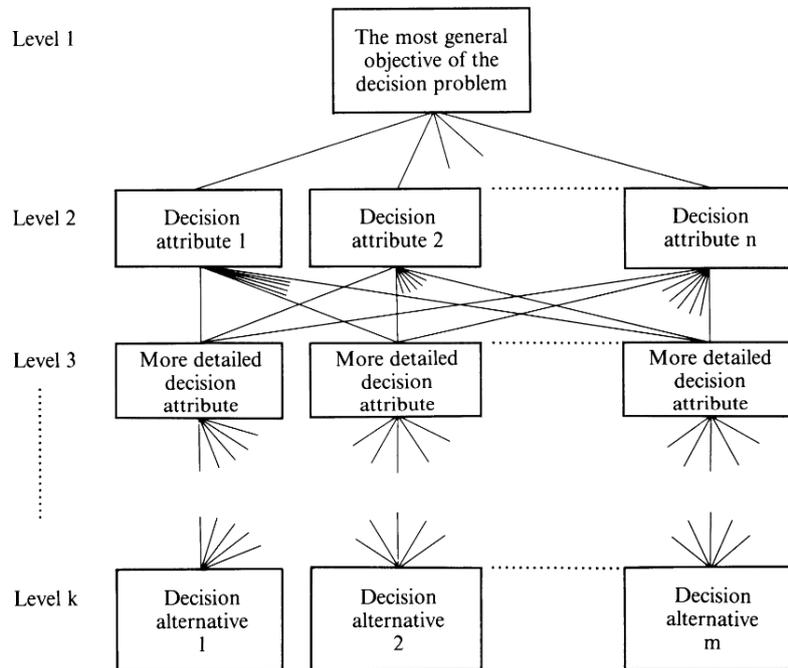


Figura 2. Estructura jerárquica de un problema con AHP [32]

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente apartado expone los resultados obtenidos para la metodología propuesta, aplicados a un caso de estudio como es el proyecto GO PDApp. Además, se incluye una discusión en base a dichos resultados.

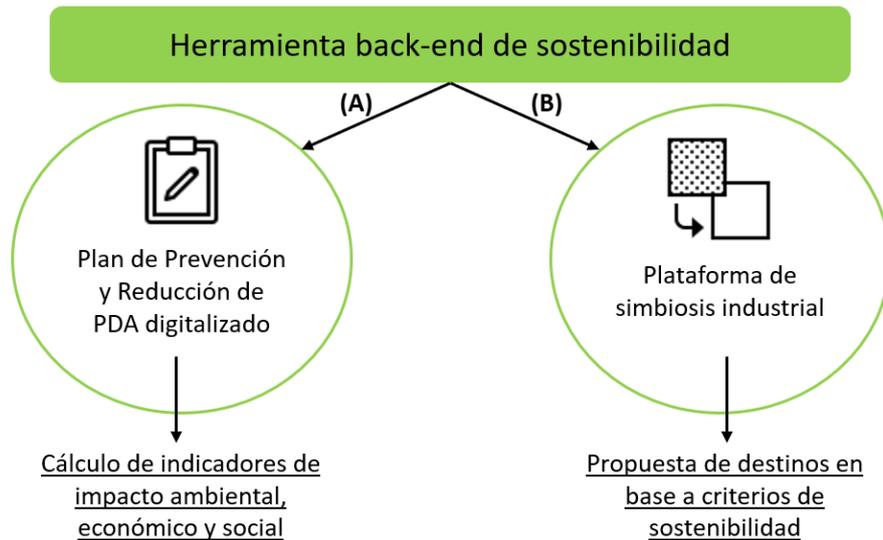
### 5.1. Caso de estudio: GO PDApp

El Grupo Operativo PDApp “Avanzando hacia un modelo digital para el desperdicio cero en el sector agroalimentario” se crea con el fin de ayudar a los profesionales del sector hortofrutícola a combatir la pérdida y desperdicio alimentario. Entre los principales objetivos del proyecto se encuentra el desarrollo de la plataforma digital PDApp que incorpore dos secciones con funciones claramente diferenciadas:

- (A) Diagnosticar adecuadamente las pérdidas y desperdicio alimentario asociado a las actividades del sector hortofrutícola y elaborar un PPRPDA.
- (B) Favorecer el intercambio de los excedentes generados entre distintos agentes, garantizando la trazabilidad y el cumplimiento de la futura ley estatal de PDA.

En esta plataforma se integrará la herramienta back-end de cálculo de indicadores de impacto en base a criterios de sostenibilidad. De esta forma, los agricultores y procesadores del sector dispondrán de información ambiental, económica y social que les ayudará en la toma de

decisiones para elegir las actuaciones de prevención y destinos posibles y mostrará de manera cuantitativa la eficacia de las acciones puestas en marcha en un periodo de tiempo concreto.



**Figura 3.** Esquema funcionamiento herramienta back-end (Elaboración propia)

De acuerdo con la estructura y funcionalidades de la plataforma principal PDApp (Figura 3), la herramienta back-end se ha desarrollado con dos modalidades de funcionamiento. Por un lado, (A) cuantifica el impacto en sostenibilidad de la PDA generada en un periodo de tiempo definido, permitiendo al productor analizar la evolución de su desempeño en distintos periodos (por ejemplo, cada año) comparando los resultados obtenidos en su diagnóstico inicial con respecto al diagnóstico de años posteriores, tras implementar el PPRPDA. Por otro lado, (B) ofrece una valoración de los receptores interesados/aptos para realizar el intercambio, que permitirá ordenarlos en función de su sostenibilidad global (teniendo en cuenta la importancia relativa de las tres dimensiones).

## 5.2. Desarrollo e integración herramienta back-end de cálculo de indicadores

### Selección de indicadores de impacto

A partir de la selección de aquellos indicadores que se consideran más adecuados (Cuadro 1), se ha valorado incluirlos todos dentro de la plataforma, o, por el contrario, seleccionar una parte de ellos. Los criterios seguidos tienen que ver con su facilidad de comprensión para el público objetivo (usuarios de la aplicación PDApp), viabilidad de cálculo a partir de la información disponible o la capacidad de ser integrados en la aplicación en base a las funcionalidades de la misma.

La primera decisión tomada ha sido reducir el número de indicadores porque se asume que una muestra demasiado amplia podría dificultar a los usuarios el análisis de la evolución de su desempeño o la toma de decisiones en materia de sostenibilidad, al no existir un orden de

preferencia claramente definido. En línea con esto, se decide descartar aquellos indicadores de difícil comprensión para un público no técnico con conocimientos básicos en sostenibilidad. Por estos motivos, se decide escoger un único indicador por dimensión y descartar Ocupación de tierras agrícolas y Retorno económico salarios.

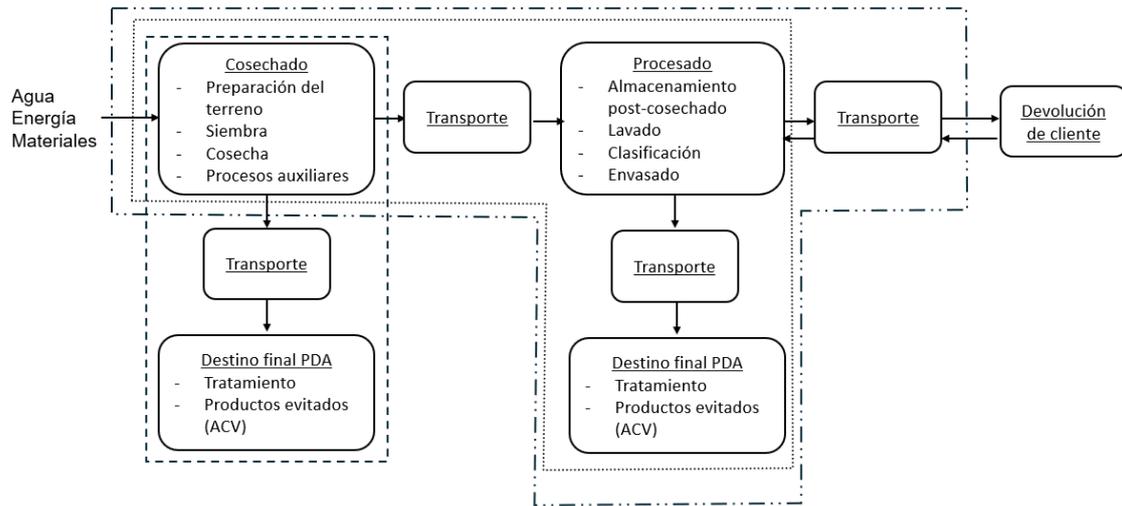
En la dimensión social se decide descartar el indicador de Accidentabilidad porque se requieren datos extra de los solicitados en la plataforma principal.

Finalmente, se decide emplear como indicadores de impacto: Potencial de calentamiento global, Coste y Comidas aprovechadas, porque son los que se mencionan mayoritariamente en los documentos de referencia analizados [9] [25] [26]. Con todo esto, no se ha identificado ningún estándar o normativa en el que se especifiquen los indicadores de sostenibilidad que se deben calcular y reportar para evaluar la problemática de la PDA.

### **Análisis de sostenibilidad de ciclo de vida (LCSA)**

Teniendo en cuenta el objetivo del GO PDApp, el alcance del sistema más adecuado presenta un enfoque de la cuna a la tumba, similar a muchos trabajos para la evaluación del impacto de los residuos alimentarios [11] [12]. Los procesos unitarios principales considerados son: etapa de cosechado, tratamiento en la planta de procesado, devolución por parte del cliente, destino final de la PDA y los procesos de transporte intermedio. Dentro de la etapa de cosechado, se incluyen los procesos de preparación del suelo, siembra, control de malezas, fertilización, control de plagas, riego y cosecha. Además, se consideran los impactos derivados del empleo de maquinaria y las infraestructuras asociadas y todos los impactos aguas arriba por la producción de semillas, plántulas, fertilizantes, combustibles y el correspondiente transporte los mismos hasta la granja. El alcance del procesado de los productos hortofrutícolas engloba el impacto derivado del consumo energético y de agua de las etapas de lavado, clasificación y envasado, así como el consumo eléctrico ocasionado por el periodo de almacenamiento post-cosechado (cuando sea necesario). Los escenarios planteados para las etapas del transporte diferencian entre dos tipos de camión: camión de mercancías refrigerado y camión de transporte de residuos [no refrigerado]. El alcance de ambos sistemas incluye el combustible, el desgaste de las carreteras y el propio vehículo. Por último, dentro de la etapa de gestión se incluyen todos los impactos ocasionados desde que los residuos entran en las instalaciones hasta que son tratados/transformados en nuevos productos, teniéndose en cuenta las cargas evitadas por su posible aprovechamiento.

En la Figura 4 se muestran los tres sistemas de producto en el alcance, que varían en función de la etapa en la que se produce la PDA:



**Figura 4.** Sistemas de producto (Elaboración propia)

Con respecto al alcance geográfico, siempre que ha sido posible se han considerado datos a nivel nacional y sistemas representativos para dicho territorio; tanto para los procesos de producción y procesado de alimentos hortofrutícolas como para los destinos de gestión de la PDA.

De acuerdo con el objetivo y las funcionalidades de la herramienta digital, se ha tenido en cuenta que la unidad funcional (UF) y el flujo de referencia del sistema es 1 kg de PDA producida a lo largo de la cadena de valor del producto HF, coincidiendo con autores como [10], ya que representa adecuadamente el objetivo del estudio y permite analizar el impacto de los residuos en función del producto de origen, las posibles etapas en las que se generen y los destinos finales elegidos.

En relación con los procedimientos de asignación, se asignará a los residuos la carga ambiental equivalente a los productos de origen porque el objetivo del estudio es evaluar el impacto debido a la generación de PDA cuya función original era la alimentación humana [11] [12]. La expansión de los límites del sistema se tomará en consideración sólo en la técnica de ACV, en el caso de que los sistemas a comparar presenten beneficios adicionales por coproductos o para asignación de cargas [10] [12] [13] [15], siguiendo la jerarquía de criterios a aplicar para distribución de las cargas en procesos multifuncionales reflejados en los estándares ISO 1404 y 14044.

Como ya se ha descrito anteriormente, la fase de inventario de ciclo de vida comprende la recopilación de los datos de entrada y salida en relación con el sistema bajo estudio, necesarios para cumplir con el objetivo y de acuerdo con los requisitos definidos en el alcance. En este caso, el inventario se realiza a partir de datos directos y genéricos. Como datos directos, se emplean algunos que deberán introducir los usuarios de la herramienta digital (empresas productoras y receptoras de la PDA). En aquellos casos que no sea posible el uso de los datos directos (por no disponer de información de los flujos de materia y energía, coste de producción, contenido energético...) y para completar el inventario aguas arriba y aguas debajo de los procesos unitarios, se emplean datos obtenidos a partir de bases de datos genéricas y específicas, como Ecoinvent v3.10, Agribalyse v3.1.1, Agri-Foodprint v6.3, WFLDB v3.5 o del MAPA.

Con respecto a las asunciones llevadas a cabo, cuando no ha sido posible disponer de la distancia entre una etapa y la siguiente (por ejemplo, de cosechado a procesado) se ha considerado una distancia media. La distancia media se ha obtenido a partir de la información aportada por las empresas colaboradoras. Por otro lado, se ha asumido que el transporte de PDA se realizaría en un camión refrigerado o no refrigerado en función de la etapa siguiente:

- Camión refrigerado/no refrigerado: si se traslada a etapa de procesado o cliente, o para aquellos destinos de tipo A y B (en base a la jerarquía de usos de los alimentos de la Figura 1).
- Camión no refrigerado: para aquellos destinos de tipo C (en base a la jerarquía de usos de los alimentos de la Figura 1).

La fase de evaluación de impacto seguida ha sido diferente en función de la técnica de análisis de ciclo de vida. Para las técnicas de ACV y ACV-S se obtienen los factores de impacto ambiental y social siguiendo la metodología descrita en la ISO 14040 [6]. Por el contrario, la técnica de ACCV no dispone de una etapa comparable de evaluación de impactos, ya que los datos de costes agregados proporcionan directamente una medida del impacto económico. Para calcular el factor de impacto ambiental de cada sistema se ha utilizado la metodología ReCiPe de efectos intermedios con una perspectiva jerárquica (ReCiPe Midpoint Hierarchist), incluida en el SimaPro 9.6. Las categorías de tipo social elegidas dependen exclusivamente del tipo de gestión que se realice de la PDA. Por tanto, se ha tenido en cuenta el contenido energético de los productos hortofrutícolas [33] y un factor de conversión de 700 kcal/comida [34]. Con respecto a la dimensión económica, la información se ha obtenido directamente de los datos de costes registrados por parte de los usuarios y de las bases de datos y fuentes consultadas [35] [36] [37]. Esta fase permite obtener los factores de impacto en función de la UF definida.

Se ha observado que existe una metodología estandarizada y ampliamente extendida para la elaboración de un ACV, pero no sucede lo mismo con las técnicas de ACV-S, ACCV y LCSA. Debido a esto, autores como [6] [7] [8] proponen que se siga la norma estandarizada ISO 14040 para realizar la evaluación de impacto en la sostenibilidad. Con todo esto, actualmente no existe una norma de referencia para estas técnicas que haga comparables los resultados de estudios equivalentes.

### Desarrollo de herramienta back-end

La herramienta back-end desarrollada consiste en una base de datos (BBDD) en Microsoft SQL Server en un servidor al que se da acceso desde la plataforma PDAApp. En la BBDD se definen las tablas de datos requeridos y las tablas con los factores de impacto correspondientes a cada una de estas variables, obtenidos de la fase de evaluación de impacto de LCSA. Las tablas con los factores de impacto se relacionan con la tabla de tipos de PDA mediante un ID. A partir de las características de la PDA introducida en la plataforma principal, la herramienta back-end selecciona los factores de impacto (definidos en las tablas anteriormente descritas), que son dependientes del producto de origen, etapa en la que se produce la PDA y el destino, y realiza el cálculo de los indicadores de impacto conforme a los modelos definidos para todas las casuísticas posibles.

De acuerdo con las funcionalidades de la plataforma principal (Figura 3) ha sido necesario definir dos modalidades de cálculo de indicadores de impacto. Por un lado, los indicadores (A), que

# CONAMA 2024

## APLICACIÓN DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD EN HERRAMIENTAS DIGITALES PARA COMBATIR LA PDA

acompañan la funcionalidad de cuantificación, registro de PDA y elaboración del PRRPDA, deben poder calcular el impacto en un periodo de tiempo determinado y de este modo ofrecer al productor la posibilidad de analizar la evolución de su desempeño en sostenibilidad. Para ello, se utilizarán datos de inventario directos, obtenidos a partir de los valores registrados en la plataforma principal.

Con respecto a la modalidad (B) de los indicadores, se emplean en la plataforma de simbiosis industrial como criterio de decisión para elegir entre las empresas interesadas en la PDA bajo criterios de sostenibilidad. Por tanto, este tipo de indicador evalúa el impacto que podría causarse por una vía de gestión hipotética, de la que no se dispone de datos directos.

Para calcular los indicadores de impacto se han definido los modelos con todas las casuísticas posibles, que permiten a la herramienta back-end relacionar los datos de inventario y factores de impacto obtenidos en la aplicación principal (color negro), con los factores obtenidos de fuentes específicas, mencionados en el apartado anterior (5.2) (color verde). A modo de ejemplo, se incluyen a continuación los modelos empleados para una PDA producida en Procesado y gestionada a través de Mercados alternativos:

$$PCG (A/B) = kg PDA * GWP_{Prod} + (kg PDA)/1000 * distancia1 * GWP_{Trans1} + kg PDA * GWP_{Proc} + (kg PDA)/1000 * distancia3 * GWP_{Trans1} - 0,7 * (kg PDA * GWP_{Prod} + (kg PDA)/1000 * distancia1 * GWP_{Trans1} + kg PDA * GWP_{Proc} + kg PDA * GWP_{(Merc, evitB)}) \quad (1)$$

$$Coste de la PDA (A) = kg PDA * € producción + kg PDA * € gestión \quad (2)$$

$$Coste de la PDA (B) = kg PDA * Coste_{Proc} + kg PDA * Coste_{Merc,alt,proc} \quad (3)$$

$$n^{\circ} de comidas aprovechadas (A/B) = kg PDA * Energ_{Merc,alt} \quad (4)$$

Siendo, *kg PDA* los kg de PDA registrada, *GWP* el factor de impacto ambiental calculado relativo a emisiones de CO<sub>2eq</sub> del proceso unitario correspondiente, *distancia1* los km recorridos entre producción y procesado, *distancia3* los km recorridos entre procesado y tienda de mercado alternativo, *€ producción* el factor de impacto económico relativo al coste de producción que supone la PDA, *€ gestión* el factor de impacto económico relativo al coste de la gestión de la PDA, *Coste* el factor de impacto económico calculado relativo al coste que supone la PDA en el proceso unitario correspondiente y *Energ* el factor de impacto social calculado relativo a las comidas aprovechadas que supone la PDA. Como se puede observar en las ecuaciones (1) y (4), los modelos ambiental y social se utilizan indistintamente para las dos funcionalidades de los indicadores de impacto. Por el contrario, en la ecuación (2) se puede observar que la fuente de información empleada para los factores de coste es diferente, empleándose datos directos en el escenario (A) y datos indirectos en el escenario (B), que se relacionan con la plataforma de simbiosis industrial.

Una vez definidos los modelos de cálculo (B), se aplica la metodología AHP, para poder identificar la prioridad relativa que le dan en el sector a cada una de las dimensiones de la sostenibilidad, con el objetivo de combatir la problemática de la PDA. Una vez definida la estructura jerárquica del problema (impacto en sostenibilidad) (Figura 2), se ha distribuido una encuesta a través de

# CONAMA 2024

## APLICACIÓN DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD EN HERRAMIENTAS DIGITALES PARA COMBATIR LA PDA

los contactos y redes sociales de los colaboradores del proyecto, de la que se obtuvieron un total de 10 respuestas. Los resultados de las encuestas cubiertas por los expertos no son homogéneos, es decir, cada experto valora con diferente peso los criterios de sostenibilidad por lo que se obtienen tantos modelos de prioridad global como participantes. Debido a esto, se calcula una media geométrica con las respuestas de todos los expertos de tal modo que se obtiene un único vector de peso.

**Cuadro 2.** Vector de peso de los criterios

	Peso relativo
Potencial de calentamiento global	31%
Comidas aprovechadas	25%
Coste	45%

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos con la metodología AHP han permitido identificar la importancia relativa que tienen los tres pilares de la sostenibilidad para el sector, en base a los indicadores de impacto más relevantes: 31% pilar ambiental, 25% pilar social y 43% pilar económico. Esta valoración se ha utilizado para obtener una puntuación de impacto global. Para ello, se multiplica el vector de pesos por la matriz de indicadores de sostenibilidad, compuesta por los destinos posibles y su evaluación de impacto normalizada entre 0-1 en función del indicador.

A modo de ejemplo, suponiendo que se registran 38.146 kg de PDA de tomate producida en Procesado en la plataforma de intercambio, y que han mostrado interés en captar dicha PDA tres empresas del tipo Mercados alternativos, Compostaje industrial y Alimentación animal directa, el procedimiento seguido sería el mostrado en el Cuadro 3 y Cuadro 4:

**Cuadro 3.** Matriz de indicadores de sostenibilidad

Destino	Distancia a destino (km)	I.Ambiental (kg CO <sub>2eq</sub> )	I.Social (nº comidas)	I.Económico (€)
Compostaje	150 km	18.094,94	0	-41.816,02666
Alimentación animal	60 km	2.570,28	0	-38.756,336
Mercados alternativos	100 km	4.355,36	11.268,87	-13.611,19469

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.** Matriz de indicadores normalizada y valoración de sostenibilidad global

Destino	I.Ambiental	I.Social	I.Económico	Sostenibilidad global
Compostaje	0,00	0,00	0,00	0
Alimentación animal	1,00	0,00	0,11	0,31
Mercados alternativos	0,89	1,00	1,00	0,95

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en el Cuadro 4, el orden de preferencia para la elección de las empresas receptoras sería el siguiente: Mercados alternativos, Alimentación animal directa y Compostaje industrial.

Otras herramientas desarrolladas previamente bajo el mismo objetivo de combatir la PDA en el sector hortofrutícola coinciden con el planteamiento general seguido para el cálculo de indicadores de impacto ambiental, social y económico. Por ejemplo, FRESH FLW [19] permite identificar el tipo de comida de origen y las etapas en las que se produce la PDA (agricultura, cosechado, procesado, distribución y consumo), especificando el tipo de gestión/destino que se le aplica. A partir de los datos de entrada y los factores de impacto que tiene predefinidos, se calculan el impacto ambiental (para varias categorías de impacto) y nutricional. En el caso la herramienta FORKLIT [20] se combina el cálculo del impacto ambiental y económico (bajo los indicadores de PCG y coste) de la ruta de valorización aplicada para un producto en concreto, teniendo en cuenta los impactos aguas arriba. Por el contrario, se han encontrado herramientas que aúnen los resultados de impacto ambiental, económico y social en un solo indicador de sostenibilidad global mediante la integración de las metodologías de ACV y AHP, de tal forma que sea posible comparar varios destinos posibles con un único indicador global. Con todo esto, autores como [22] han combinado ambas metodologías dentro del campo de las energías renovables, por ser una de las combinaciones más ampliamente utilizadas cuando se requiere una decisión multicriterio. Entre los resultados comunes, se obtiene poder realizar una elección de varias alternativas bajo criterios de sostenibilidad y reducir la incertidumbre en la toma de decisiones.

## CONCLUSIONES

Actualmente existe una gran problemática con la pérdida y desperdicio alimentario en el mundo, en concreto, cerca de un tercio de toda la comida producida que se produce para consumo humano se pierde o desperdicia [1]. Debido a esto, los países están implantando medidas con el objetivo de combatir la problemática. Con respecto a España, en enero de 2024 se publicó el Proyecto de ley para evitar el desperdicio de alimentos, que incluye medidas como la obligatoriedad para las empresas de la cadena alimentaria de contar con un Plan o implantar medidas de gestión aplicando la jerarquía de prioridades.

Dentro del marco del proyecto de innovación “Avanzando hacia un modelo digital para el desperdicio cero en el sector agroalimentario”, ejecutado por el Grupo Operativo PDApp, se ha desarrollado una herramienta back-end de cálculo de indicadores de impacto, que faciliten la toma de decisiones desde una perspectiva de sostenibilidad. Por tanto, en la herramienta propuesta se establecen indicadores que permitirán evaluar – a nivel ambiental, económico y social – las repercusiones causadas por las pérdidas, así como los avances alcanzados con la puesta en marcha de medidas para evitar su generación, minimizarlas o darle una gestión alternativa. Así productores, consumidores o administraciones públicas podrán valorar de forma objetiva y detallada los efectos de la puesta en marcha de unas medidas u otras, pudiendo seleccionar las más eficaces, las que cumplen más adecuadamente los objetivos particulares a nivel empresarial o particular, o las más adecuadas para su inclusión en políticas y planificación pública.

# CONAMA 2024

## APLICACIÓN DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD EN HERRAMIENTAS DIGITALES PARA COMBATIR LA PDA

En base a los resultados obtenidos, se ha observado la necesidad de disponer de guías metodológicas y estándares de referencia que permitan evaluar de forma integrada las tres dimensiones de la sostenibilidad bajo la técnica de LCSA.

En este caso de estudio, la metodología AHP se ha utilizado para identificar la importancia relativa que asignan los expertos del sector a cada una de las tres dimensiones de la sostenibilidad y poder obtener un indicador de impacto global. En base a los resultados obtenidos, se ha comprobado que resulta interesante combinarla con la metodología de ACV, para realizar una evaluación multidimensional que permita obtener la importancia relativa de varios criterios como son los indicadores de impacto para resolver un problema común.

Este proyecto tiene financiación UE 100% por el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural- FEADER, siendo la Dirección General de Desarrollo Rural, Innovación y Formación Agroalimentaria (DGDRIFA), la autoridad de gestión encargada de la aplicación de la ayuda FEADER. El importe total de la ayuda aprobado es de 599.480,28 €. Más información: Agricultura y Desarrollo Rural de la Comisión Europea ([https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/rural-development\\_es](https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/rural-development_es)).

COFINANCIADO POR:



## BIBLIOGRAFIA

- [1] FAO (2011). *Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention* [Archivo PDF]. <https://www.fao.org/4/mb060e/mb060e.pdf>
- [2] NU (25 de septiembre de 2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [3] FAO (2019). *The State of Food and Agriculture. Moving forward on food loss and waste reduction* [Archivo PDF]. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/11f9288f-dc78-4171-8d02-92235b8d7dc7/content>
- [4] Tostivint, C., Östergren, K., Quedsted, T., Soethoudt, H., Stenmarck, Å., Svanes, E. y O'Connor, C. (2016). *Food waste quantification Manual* [Archivo PDF]. <https://norsus.no/wp-content/uploads/fusions-food-waste-quantification-manual.pdf>
- [5] FLW Protocol (2016). *Estándar de Contabilización y Reporte Sobre Pérdida y Desperdicio de Alimentos* [Archivo PDF]. <https://flwprotocol.org/wp->

<content/uploads/2016/05/FLW-Standard-executive-summary-SPANISH.pdf>

- [6] UNEP/SETAC Life Cycle Initiative (2011). *Towards a life cycle sustainability assessment: Making informed choices on products* [Archivo PDF]. [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8001/UNEP\\_Lifecycleinit\\_Dec\\_FINAL.pdf?sequence=3&amp%3BisAllowed=](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8001/UNEP_Lifecycleinit_Dec_FINAL.pdf?sequence=3&amp%3BisAllowed=)
- [7] UNEP/SETAC Life Cycle Initiative (2020). *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of products and organizations* [Archivo PDF]. <https://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2021/01/Guidelines-for-Social-Life-Cycle-Assessment-of-Products-and-Organizations-2020-22.1.21sml.pdf>
- [8] UNEP/SETAC Life Cycle Initiative (2021). *Methodological Sheets for Subcategories in Social Life Cycle Assessment (S-LCA)* [Archivo PDF]. [https://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2021/12/Methodological-Sheets\\_2021\\_final.pdf](https://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2021/12/Methodological-Sheets_2021_final.pdf)
- [9] De Menna, F., Loubiere, M. Dietershagen, J., Vittuari, M. y Unger, N. (2016). *Methodology for evaluating LCC* [Archivo PDF]. [https://eu-refresh.org/sites/default/files/REFRESH\\_D5\\_2\\_Meth\\_for\\_ev\\_LCC\\_Final\\_formatted\\_0.pdf](https://eu-refresh.org/sites/default/files/REFRESH_D5_2_Meth_for_ev_LCC_Final_formatted_0.pdf)
- [10] Omolayo, Y., Feingold B. J., Neff, R. A. y Romeiko, X. X. (2021). Life cycle assessment of food loss and waste in the food supply chain. *Resources, Conservation & Recycling*, 164, 105119. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105119>
- [11] Willersinn, C., Möbius, S., Mouron, P., Lansche, J. y Mack, G. (2017). Environmental impacts of food losses along the entire Swiss potato supply chain—Current situation and reduction potentials. *Journal of Cleaner Production*, 140, 860-870. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.178>
- [12] Brancoli, P., Rousta, K. y Bolton, K. (2017). Life cycle assessment of supermarket food waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 118, 39-46. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.11.024>
- [13] Salemdeeb, R., Vivanco, D. F., Al-Tabbaa, A. y Zu Ermgassen, E. K. (2017). A holistic approach to the environmental evaluation of food waste prevention. *Waste Management*, 59, 442-450. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.09.042>
- [14] Salemdeeb, R., Bin Daina, M., Reynolds, C. y Al-Tabbaa, A. (2018). An environmental evaluation of food waste downstream management options: a hybrid LCA approach. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 7, 217-229. <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0208-8>
- [15] Ribeiro, I., Sobral, P., Peças, P. y Henriques, E. (2018). A sustainable business model to fight food waste. *Journal of Cleaner Production*, 177, 262-275. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.200>

# CONAMA 2024

## APLICACIÓN DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD EN HERRAMIENTAS DIGITALES PARA COMBATIR LA PDA

---

- [16] Martínez-Sánchez, V., Tonini, D., Moller, F. y Astrup, T. F. (2016). Life-Cycle Costing of Food Waste Management in Denmark: Importance of Indirect Effects. *Environmental, Science and Technology*, 50, 4513-4523. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03536>
- [17] Petti, L., Sanchez-Ramirez, P. K., Traverso, M. y Lie-Ugaya, C. M. (2018). An Italian tomato “Cuore di Bue” case study: challenges and benefits using subcategory assessment method for social life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23, 569-580. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1175-9>
- [18] Iacovidou, E., Busch, J., Hahladakis, J. N., Baxter, H., Ng, K. S. y Herbert, B. M.J. (2017). A Parameter Selection Framework for Sustainability Assessment. *Sustainability*, 9 (9), 1497. <https://doi.org/10.3390/su9091497>
- [19] FLW Protocol (31 de octubre de 2024). *FLW Value Calculator*. <https://flwprotocol.org/why-measure/food-loss-and-waste-value-calculator/>
- [20] REFRESH (31 de octubre de 2024). *FORKLIFT: Assessing climate impacts and costs of using food side strams*. <https://eu-refresh.org/forklift.html>
- [21] De Laurentiis, V., Garcia Herrero, L., Foschi, J. y Sala, S. (31 de octubre de 2024). *Food Waste Prevention Calculator*. European Commission. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC134816>
- [22] Campos Guzmán, V. (2022). *Orientación a la producción y consumo sostenible, Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y Modelos de Decisión Multicriterio (MDMC) para evaluación de sistemas fotovoltaicos* [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cartagena]. <https://repositorio.upct.es/entities/publication/5bdd30fd-3fd5-4d66-abd5-7a6e566910b3>
- [23] Romero-Perdomo, F. y González-Curbelo, M. A. (2023). Integrating Multi-Criteria Techniques in Life-Cycle Tools for the Circular Bioeconomy of Agri-Food Waste Biomass: a Systematic Review. *Sustainability*, 15 (6), 5026. <https://doi.org/10.3390/su15065026>
- [24] Departament d’Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació (2019). *Guía para la implantación de un plan de prevención y reducción de las pérdidas y el desperdicio alimentario en las empresas agroalimentarias* [Archivo PDF]. [https://agricultura.gencat.cat/web/.content/04-alimentacio/malbaratament-alimentari/enllacos-documents/fixers-binaris/Guia-Curta\\_Aprofitament\\_CAS\\_OK.pdf](https://agricultura.gencat.cat/web/.content/04-alimentacio/malbaratament-alimentari/enllacos-documents/fixers-binaris/Guia-Curta_Aprofitament_CAS_OK.pdf)
- [25] CCA (2019). *Cuantificación de la pérdida y el desperdicio de alimentos y sus efectos* [Archivo PDF]. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD003706.pdf>
- [26] CCA (2021). *Por qué y cómo cuantificar la pérdida y el desperdicio de alimentos* [Archivo PDF]. <http://www.cec.org/files/documents/publications/11869-why-and-how-measure-food-loss-and-waste-practical-guide-version-20-es.pdf>

- [27] Buzby, J. C. y Hyman, J. (2012). Total and per capita value of food waste in the United States. *Food Policy*, 37 (5), 561-570. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.06.002>
- [28] AENOR (2006). *UNE-EN-ISO 14040: Gestión Ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia*. AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación)
- [29] AENOR (2006). *UNE-EN-ISO 14044. Gestión Ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y Directrices*. AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación)
- [30] European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability (2010). *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook – General guide for Life Cycle Assessment - Detailed Guidance*. First edition March 2010. EUR 24708 EN. Luxembourg. Publications Office of the European Union. ISBN 978-92-79-19092-6
- [31] Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1 (1), 83-98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- [32] Zahedi, F. (1986). The analytic hierarchy process – A survey of the method and its applications. *Interfaces*, 16(4), 96-108. <https://www.jstor.org/stable/25060854>
- [33] MAPA (31 de octubre de 2024). *Características nutricionales de los principales alimentos de nuestra dieta*. <https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-buenas-practicas/buenas-practicas-sobre-alimentacion/caract-nutricionales.aspx>
- [34] FAO (2013). *Toolkit. Reducing the Food Wastage Footprint* [Archivo PDF]. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/5e4963ef-9f15-4af4-8a16-99fa158bf261/content>
- [35] MAPA (31 de octubre de 2024). *Estudios sobre productos frescos*. <https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/observatorio-cadena/frescos.aspx>
- [36] MAPA (31 de octubre de 2024). *Índices y precios percibidos agrarios*. <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/economia/precios-percibidos-pagados-salarios/precios-percibidos-por-los-agricultores-y-ganaderos/default.aspx>
- [37] Manfredi, S. y Cristobal, J. (2016). Towards more sustainable management of European food waste: Methodological approach and numerical application. *Waste Management & Research*, 34(9), 957-968. <https://doi.org/10.1177/0734242X16652965>